

SECURITY 2040

واجهات الدماغ والحاسوب

التطبيقات العسكريّة الأمريكيّة والتداعيات

تقييمٌ أوّليٌّ

أنيكا بيناندجك (ANIKA BINNENDIJK)

تيموثي مارلِر (TIMOTHY MARLER)

إليزابِث م. بارتيلز (ELIZABETH M. BARTELS)

RAND CORPORATION

تصميم الغلاف: بيتر سوريانو *(Peter Soriano)*
صورة الغلاف: أدوبي ستوك *(Adobe Stock)*/بروستوك-ستوديو *(Prostock-studio)*

للمزيد من المعلومات حول هذا المنشور، الرجاء زيارة الموقع الإلكتروني:
www.rand.org/t/RR2996

الملخّص

تُمثِّل واجهة الدماغ والحاسوب (brain–computer interface [BCI]) مجالاً ناشئاً تخريبياً بشكلٍ محتملٍ من التكنولوجيا، والذي حَظِيَ حتّى تاريخه بحدٍّ أدنى من المناقشة العامّة في أوساط سياسات الدفاع والأمن القومي. لقد نظَر هذا البحث في المجالات الرئيسيّة التي قد تكون فيها تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب المستقبليّة ذات صلة بالنسبة إلى محاربي الغد. وسعى إلى استكشاف القيمة العملياتيّة للتطوّرات الحاليّة والمستقبليّة بخصوص التواصل العصبيّ بين الإنسان والآلة (man–machine neural communication)، ونقاط الضعف والمخاطر المرتبطة به، والأدوات في السياسات التي يجب أن تكون قائمةً قبل نشْر التكنولوجيا.

لقد اعتمد المشروع على مراجعات الدراسات السابقة التقنيّة والأمنيّة ذات الصلة وعلى المناقشات مع الخبراء المتخصّصين في المجال من أجل تطوير لعبةٍ في يوليو/تموز 2018 جَمَعَت خبراء تقنيين وعملياتيين. اختَبَرَت اللعبة الفائدة المحتملة التي قد تقترن بها "مجموعة وظيفيّة من أدوات واجهة الدماغ والحاسوب" في وجه سيناريوهين لعمليّتين حضريّتيْن تكتيكيّتيْن مستقبليّتَيْن. وقد أشارَت نتائج اللعبة إلى أنّه من المرجّح أن يكون لتكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب استخدامٌ عمليٌّ في ساحة معركةٍ مستقبليّة، ولا سيّما مع تكثيف وتيرة التفاعل بين الإنسان والآلة وحجمه. ففي سياق السيناريوهين، تَوَقَّع المشارِكون أنّ قدرات واجهة الدماغ والحاسوب قد تعزّز سرعة التواصل، وتُحسنّ مستوى التوعية المُشتَرَكة بالأوضاع السائدة، وتتيح للمُشغّلين التحكُّم بمنصّات تكنولوجيّة متعدّدة في آنٍ واحد. وأشار المشارِكون إلى أنّ الفائدة البرغماتيّة لكلّ واحدة من قدرات واجهة الدماغ والحاسوب قد تعتمد إلى حدٍّ كبيرٍ على دقّتها وموثوقيّتها خلال القتال. ومن بين القدرات التي جرى تقييمها في اللعبة، بدا أنّ التواصل المباشر بين الأدمغة (direct brain–to–brain communication) الذي تُيسّره واجهة الدماغ والحاسوب يقدّم التطبيقات الأكثر تحويليّةً للاستخدام العملياتي، ولكنّه اقترن أيضاً بالمخاطر العملياتيّة والمؤسساتيّة الأكبر.

وقد استكشَفَ تحليلنا أيضاً مجالات الخطر الممكنة المرتبطة بتطوير قدرات واجهة الدماغ والحاسوب في مجال القتال وتطبيقها. وكما هي الحال بالنسبة إلى عددٍ من التطويرات التكنولوجيّة الجديدة، قد تؤدّي واجهة الدماغ والحاسوب إلى بروز نقاط ضعفٍ عملياتيّةٍ عسكريّةٍ جديدة، ومجالاتٍ جديدةٍ من الخطر الأخلاقي والقانوني، وتداعياتٍ عميقةٍ بشكلٍ محتملٍ بالنسبة إلى الهيكليات التنظيمية العسكريّة القائمة. وبشكلٍ خاص، يسلّط التقرير الضوء على نقاط الضعف العملياتيّة المحتملة المرتبطة بتطوير تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب واعتمادها من قِبَل وزارة الدفاع الأمريكية (Department of Defense [DoD])، بما في ذلك احتمال بروز نقاط عطْل جديدة، ووصول الخصوم إلى معلومات جديدة، ونشوء مجالات جديدة من التعرُّض للضرر أو سُبُل جديدة لتأثير العسكريين. ويؤكّد أيضاً على نقاط الضعف المؤسساتية التي قد تنشأ، بما فيها التحدّيات المحيطة بنقص الثقة بتكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب، بالإضافة إلى التآكل المحتمل لتماسك الوحدة، ولقيادة الوحدة، ولعلاقاتٍ عسكريةٍ أساسيّةٍ أخرى بين الأشخاص. وأخيراً، ننظر في مسؤوليات الحكومة الأمريكية الأخلاقية والقانونية المستقبلية المحتملة تجاه مشغّلٍ فرديٍّ لواجهة الدماغ والحاسوب، بالإضافة إلى التداعيات على مسؤوليات ذلك الفرد الأخلاقية والقانونية والتي قد تنتج عن تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب. ويجب دمْج هذه الاعتبارات في جهود البحث والتطوير (research and development [R&D]) التي يتم بذْلها في وقتٍ مبكرٍ في سياق العملية وهي قد تضمن تخصيص آلية رقابة على نطاق الوزارة مع استمرار التكنولوجيات بالنضوج.

بالإجمال، تشير نتائجنا المُستَخلَصَة إلى أنّه، ومع قيام الجيش الأمريكي بدمج الذكاء الاصطناعي (artificial intelligence [AI]) والأنظمة شبه المستقلّة في عملياته بشكلٍ متزايد، قد توفّر واجهة الدماغ والحاسوب أسلوباً مهمّاً لتوسيع مجال التعاون بين الإنسان والآلة (human–machine teaming) وتحسينه. على الرغم من ذلك، ستدعو الحاجة إلى اتّخاذ إجراءاتٍ احتياطيّةٍ للتخفيف من نقاط الضعف بالنسبة إلى عمليات وزارة الدفاع الأمريكيّة ومؤسساتها وللحدّ من المخاطر الأخلاقيّة والقانونيّة المحتملة المرتبطة بتطوير وزارة الدفاع الأمريكيّة لتكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب واعتمادها لها. وإنّنا بالتحديد نوصي بأن تقوم وزارة الدفاع الأمريكيّة بما يلي:

- **توسيع نطاق التحليل لتسليط الضوء على الصلة والمخاطر العملياتيّة.** لقد طوَّر هذا البحث مقاربةً منهجيّةً لتقييم التطبيقات العملياتيّة المحتملة لواجهة الدماغ والحاسوب (BCI) من خلال الجمع بين التجربة العملياتيّة والخبرة التكنولوجيّة وتشكيل فريقٍ أحمر (أي فريق تحدٍّ) (Red team) تخريبيّ وإبداعيّ من خبراء مؤسسة RAND. قد تُكَمِّل المقاربات التحليلية الجديدة المماثلة التمارين الداخليّة القائمة للمساعدة في ضمان أنّ الحاجات والمخاطر العملياتيّة، بدلاً من الفرص التقنيّة فحسب، تدفع بتطوير واجهة الدماغ والحاسوب وتحدّد تهديدات الخصوم الجديدة.
- **معالجة نقص الثقة.** لقد سَلَّطَت اللعبة والبحث المرتبط بها الضوء على مدى أرجحيّة أن تكون المعوّقات الثقافيّة التي تعترض واجهة الدماغ والحاسوب (BCI)، ولا سيّما في صفوف العسكريين في فرقة المشاة، كبيرة. يمكن التخفيف من معوّقات الثقة من خلال إجراء فحصٍ واختبارٍ مكثّفين في سياق سيناريوهات غير قتاليّة، وعرْض مقدّمة للعسكريين

الذين يعتمدون أصلاً على التكنولوجيات الآليّة، وتركيزٍ أوّليٍّ على الإجراءات غير الباضِعَة والتطبيقات الطبيّة.

- **التعاون والتوقُّع.** لقد سلّط بحثنا الضوء على أمثلة عن المجالات التي أسفر فيها تمويل وزارة الدفاع الأمريكيّة (DoD) عن إنجازات ناجحة في مجال واجهة الدماغ والحاسوب (BCI)، وعلى أمثلة عن ابتكار القطاع الخاص الناشئ. وقد يستفيد التعاون المستقبلي، حيث يُمكن، من التقدّمات المحرزة من قِبَل القطاع الخاص لما يَصبّ في مصلحة الجيش الأمريكي، كما أنّه قد يُحسّن، في حال مواصلته بتأنٍّ، الفجوات على مستوى الثقة في صفوف الجيش. ومع قيام السوق التجارية بتطوير تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب، سيساعد ذلك في تحديد قدراتها وأوجه قصورها. على الرغم من أنّ تطبيقات واجهة الدماغ والحاسوب لا تزال حالياً في مرحلة البحث الأساسيّ، إلا أنّ الحاجة ستدعو إلى أن يأخذ تطوير تكنولوجيات أخرى من قِبَل الجيش، بما فيها الروبوتات، والذكاء الاصطناعي (AI)، وتحليل البيانات الضخمة، في عين الاعتبار التوفُّر المحتمل لواجهة الدماغ والحاسوب.
- **التخطيط مسبقاً للتداعيات المؤسساتية.** في حين تستعدّ الحكومة الأمريكيّة لدمْج تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) في القدرات العسكرية المستقبلية، ستحتاج إلى ابتكارات مؤسساتية لمعالجة القضايا الجديدة الأخلاقيّة وفي السياسات عند كل مرحلة من العملية، بدءاً من البحث والتطوير (R&D)، ووصولاً إلى التطبيق العملياتيّ على الرعاية بالمحاربين القدامى.

المقدّمة

تُمَثِّل خلايا الدماغ البشريّ العصبيّة البالغ عددها 86 مليار خليّة عصبيّة الميزة التطوّرية الأساسيّة للبشريّة، وربّما مجالاً من الإمكانيات غير المُستثمَرَة. تتفاعل أدمغتنا حالياً مع العالَم من خلال أجسادنا، حيث ترسل تيارات كهربائيّة عبْر الجهاز العصبيّ للنطق بأفواهنا، أو للطباعة أو للسحب بواسطة أصابعنا، أو للتنقّل على القدمين. فماذا سيحدث عندما يتم تحرير الأدمغة البشريّة من قيودها الجسديّة وعندما تتمكّن من التحكّم بالآلات مباشرةً؟ لقد مَنَحَت التقدّمات التكنولوجية العصبيّة أصلاً المصابين بالشلل الرباعيّ القدرة على تأدية عمليات أساسيّة في جهاز محاكاة من نوع F-35 (F-35 simulator) باستخدام أفكارهم[1] ومَنَحَت العلماء القدرة على فكّ تشفير الخطاب الذي يتخيّله البشر في أذهانهم، وإن بشكلٍ ناقص. وفي نهاية المطاف، قد تصبح أجسادنا الماديّة قيداً يمكن التحايُل عليه باستخدام التكنولوجيا العصبية الملائمة.[2] تتمثّل الوسائل التقنيّة لمجازَة الدماغ-الجسد هذه بواجهات الدماغ

الاختصارات

AI	artificial intelligence الذكاء الاصطناعيّ
ARL	Army Research Laboratory مختبر أبحاث الجيش
BCI	brain-computer interface واجهة الدماغ والحاسوب
BMI	brain-machine interface واجهة الدماغ والآلة
BRAIN	Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies مبادرة "برايْن" لأبحاث الدماغ من خلال النهوض بالعلوم العصبية المبتكرة
CaN CTA	Cognition and Neuroergonomics Collaborative Technology Alliance تحالف التكنولوجيا التعاوني حول المعرفة وهندسة بيئة العمل العصبيّة
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية
DNI	direct neural interface الواجهة العصبية المباشرة
DoD	U.S. Department of Defense وزارة الدفاع الأمريكيّة
EEG	electroencephalogram المخطط الكهربائي للدماغ
EW	electronic warfare الحرب الإلكترونيّة
FDA	U.S. Food and Drug Administration إدارة الغذاء والدواء الأمريكيّة
HCI	human-computer interaction التفاعل بين الإنسان والحاسوب
IoT	Internet of Things إنترنت الأشياء
MMI	mind-machine interface واجهة العقل والآلة
MOUT	*Military Operations in Urban Terrain* العمليات العسكرية في المناطق الحضريّة
N^3	Next-Generation Nonsurgical Neurotechnology الجيل القادم من التكنولوجيا العصبية غير الجراحيّة
NCI	neural-control interface واجهة التحكّم العصبي
NESD	Neural Engineering System Design تصميم نظام الهندسة العصبية
NIH	National Institutes of Health المعاهد الوطنيّة للصحّة
OODA	observe, orient, decide, act راقِب، وجِّه، قرِّر، تصرَّف
R&D	research and development البحث والتطوير
tDCS	transcranial direct current stimulation التحفيز بالتيار المباشر عبر الجمجمة
TNT	Targeted Neuroplasticity Training تدريب المرونة العصبية المستهدَفة
TTX	table-top exercise عملية محاكاة

والحاسوب (BCIs)، وهي بحسب تعريفها أساليب وأنظمة مُستَخْدَمَة لتوفير مسار تواصلٍ مباشرٍ بين دماغ مُعزَّز أو موصولٍ بالأسلاك وجهازٍ خارجيّ، مع تدفّقٍ ثنائي الاتجاه للمعلومات (بين الدماغ وجهازٍ ما).[3] يُعتبَر تأثيرها المحتمل واسع النطاق وبعيد المنال، ويجب أن تكون السياسات حول كيفيّة تطوير هذه التكنولوجيا وإدارتها استباقيّة، وليست تفاعليّة.

إنّ تكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب آخذةٌ بالتقدّم. ويُسلّط هذا التقدّم الضوء على الحاجة إلى تقييم التطبيقات الحالية والمحتملة، وإلى ضمان استجابة التكنولوجيا للحاجات الفعليّة كما لنوايا المُطوِّرين. ومع تحوُّلات واجهة الدماغ والحاسوب من البحث الأساسيّ إلى تطبيقات أكثر عملياتيةً وتجاريّة، سيكون من المهمّ إيلاء الاهتمام في وقتٍ مبكرٍ للتداعيات الأوسع نطاقاً، للنظر في السياسات والمبادئ التوجيهية التي قد تزيد من منافعها إلى أقصى حدّ مع التخفيف من السلبيّات المحتملة في الوقت عينه. لقد استقطب تطوير تكنولوجيّات مثل الذكاء الاصطناعي (AI)، وتحليلات البيانات، والروبوتات عناوين الصحف وعزّز المناقشة العامة حول المنافع والمخاطر المحتملة. محدودةٌ هي المحادثات المماثلة التي تَطَوّرَت حتى الآن فيما يخصّ واجهة الدماغ والحاسوب. ولدى مقارنتها بتكنولوجياتٍ ناشئةٍ بارزةٍ أخرى، تُعتبر واجهة الدماغ والحاسوب غير ناضجة نسبياً؛ فقليلةٌ هي القدرات التي تمّ نشْرها تجارياً. على الرغم من ذلك، قد لا تكون أقلّ تأثيراً. فقد تُمَثِّل واجهة الدماغ والحاسوب، بالنظر إلى التداعيات المحتملة الكبيرة في مجالات تتراوح من الدفاع والأمن القومي إلى الصحّة والرفاهية، تكنولوجيا مدمِّرةً إلى حدٍّ كبير، حَظِيَت حتّى تاريخه بتحليلٍ غير كافٍ.

يقدّم هذا التقرير تقييماً أوّلياً للتطبيقات القابلة للتنفيذ التي يمكن أن تقترن بها واجهة الدماغ والحاسوب في سياق العمليات العسكرية الأمريكية، وللمخاطر ونقاط الضعف التي قد ترتبط بتطويرها ونَشْرها. ويَصِف المؤلّفون الحالة الراهنة للتكنولوجيا والمجالات المحتملة لتطوير التكنولوجيا وتحقيق النمو لتطبيقات واجهة الدماغ والحاسوب العسكرية ويبحثون في المسائل الرئيسية المرتبطة باستخدام قدرات واجهة الدماغ والحاسوب في سيناريو قتاليّ مستقبلي. وإنّنا بشكلٍ أساسيّ، نسأل (1) ما هي الأهمية العملياتيّة المحتملة للتطويرات الحالية والمستقبلية بخصوص واجهة الدماغ والحاسوب، و(2) ما هي الاعتبارات في السياسات التي تُعَدّ ضروريّةً لإدارة التكنولوجيا بفعاليّةٍ مع تشكيل فهمٍ لتأثيرها المحتمل على المُحارب المستقبليّ؟

التعاون بين الإنسان والآلة (human–machine teaming)

ينظر البحث في واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) في سياق مستقبل الحرب المُتَوَقَّع، بما في ذلك الزيادات في التعاون بين الإنسان والآلة (human–machine teaming). يبدأ التحليل من فرضيّة أنّ التعاون بين الإنسان والآلة سيؤدي دوراً أساسياً في القتال المستقبليّ وأنّ واجهة الدماغ والحاسوب قد توفّر ميزةً تنافسيّةً في الحرب المستقبليّة. فإنّ نائب وزير الدفاع السابق روبِرت ورك (Former Deputy Secretary of Defense Robert Work) الذي قاد استراتيجية المعادِل الثالث التابعة لوزارة الدفاع الأمريكية *(DoD's 3rd Offset)*، وهو كناية عن محفِّز لتطوير التكنولوجيا في قطاع الدفاع، يركّز على التعاون بين الإنسان والآلة، قد لخّص الاتّجاهات في مجال التكنولوجيا العسكرية على الشكال التالي:

> لقد تَمَثَّلَ حجر الزاوية خلال الحرب الباردة (Cold War) بالألوية المُدرَّعَة، وألوية المُشاة الآليّة، وكتائب أنظمة إطلاق الصواريخ المتعدّدة، وكتائب المدفعيّة الذاتيّة الحركة، وأساطيل المقاتلات التعبويّة، من بين أخرى. أمّا الآن، فسيكون حجر الزاوية هو التعلُّم الآلي والتعاونات بين الإنسان والآلة، ما يتيح للآلات أن تتيح للبشر اتّخاذ قرارات أفضل؛ والعمليات البشرية بمساعدة الحاسوب، ما يعني توفير قوّة الشبكة للفرد؛ والتعاون القتالي بين الإنسان والآلة؛ والشبكة المستقلّة.[4]

وعلى الرغم من أنّ جهود البحث والتطوير (R&D) التي تبذلها وزارة الدفاع الأمريكيّة تشمل أبعاداً متعددة من التكنولوجيا، تُعتَبَر نواحٍ معيّنة ذات صلة بشكلٍ خاصٍ بالعمل المحتمل المتعلّق بواجهة الدماغ والحاسوب. وبوجهٍ خاص، ثمّة تركيزٌ متزايدٌ على التعاون بين الإنسان والآلة لتحسين صنْع القرارات، بما في ذلك التفاعل بين الإنسان والحاسوب (human–computer interaction [HCI]) والتعاون المعرفي (cognitive teaming)، والعمليات البشريّة بمساعدة الحاسوب (assisted–human operations)، وتشكيل الفِرَق القتالية التي تستخدم أنظمة يقودها البشر وأخرى بدون طيار.[5] وقد سلّط مسؤولو الدفاع الذين يناقشون نموذج "القنطور"، أي فِرَق تعاونيّة مختلطة من البشر والذكاء الاصطناعي (AI)، الضوء على المزايا النسبية للقوى العاملة المدنيّة والعسكرية الأمريكيّة في تطوير تكنولوجيات التعاون بين الإنسان والآلة وتشغيلها.[6] فقد تُمَثِّل تكنولوجيات التعاون بين الإنسان والآلة التي تستفيد بفعاليّة من نقاط القوّة الثقافيّة الفريدة لدى المحارِب الأمريكي، بما في ذلك التفكير النقديّ وأسلوب حلّ المشاكل الإبداعي، مجالاً يقترن بقيمةٍ خاصّةٍ بالنسبة إلى الجيش الأمريكي المستقبليّ.[7] وبالتالي، رَكَّزَت برامج تطوير التكنولوجيا في وزارة الدفاع الأمريكيّة على التعاون بين الإنسان والآلة.[8] في الواقع،

في نهاية المطاف، قد يتعاون البشر والآلات معرفياً وبسلاسة، للتفكير معاً.

أشارَت وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (Defense Advanced Research Projects Agency [DARPA]) إلى أنّ "الأنظمة الذكيّة ستؤثِّر بشكلٍ كبيرٍ على كيفيّة عَمَل جيوشنا في المستقبل، وحان الوقت الآن للتفكير في ما سيبدو عليه بالفعل التعاون بين الإنسان والآلة وكيف قد يمكن تحقيقه. ..."[9]

تقترن التطوّرات المستقبليّة المُرافِقَة للتعاون بين الإنسان والآلة بإمكانية إثارة نقاشات واسعة النطاق في سياسات الدفاع.[10] وقد تؤدّي التقدّمات التكنولوجيّة، مثل واجهة الدماغ والحاسوب، التي تتيح للبشر الاتصال الوثيق بشكلٍ متزايدٍ مع الآلات في ساحة المعركة، إلى تغييرات استراتيجيّة وعملياتيّة أساسيّة داخل كل واحد من الفروع العسكرية الأمريكية وستثير بدون أدنى شكّ أسئلةً أخلاقيّةً وتنظيميّةً على امتداد مجتمع الدفاع الأمريكيّ. وبالتالي، مع مواصلة وزارة الدفاع الأمريكيّة اعتماد رؤيةٍ تطلّعيةٍ حول التعاون بين الإنسان والآلة، يجب أن يثير التخطيط الطموح بالمثل نقاشات واسعة النطاق في سياسات الدفاع.[11]

واستعداداً لعالَمٍ مستقبليٍّ تُمَثِّل فيه فِرَق التعاون بين الإنسان والآلة "حجر الزاوية"، اسْتَثْمَرَت وزارة الدفاع الأمريكيّة أصلاً في تطوير التكنولوجيات التي تسمح للدماغ البشريّ بالتواصل مباشرةً مع الآلات، بما في ذلك تطوير واجهات عصبيّة تُزْرَع في الجسم (implantable neural interfaces) وتكون قادرةً على نقْل البيانات بين الدماغ البشري والعالَم الرقمي.[12] وفي ساحة المعركة المستقبليّة، قد تكون الأفكار البشرية مُوَجَّهَة جيداً إلى برمجيات الذكاء الاصطناعي أو إلى روبوتات، مع إعادة نقْل المعلومات من أجهزة الاستشعار والآلات مباشرةً إلى الدماغ البشري.[13] في نهاية المطاف، قد يتعاون البشر والآلات معرفياً وبسلاسة، للتفكير معاً.

المقاربة

إنّ هذا التحليل منظّمٌ لاستكشاف التداعيات العملياتيّة لتكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب (BCI). فهو يقود عمليةً قابلة للتكرار ليستكشف منهجياً صلة التكنولوجيات الناشئة وتداعياتها في سياق العمليات العسكريّة. وقد يُمثِّل رسْم خريطةٍ للقدرات التكنولوجية وصولاً إلى التطبيقات العملية، وليس مجرّد فهْم الحالة الراهنة للتكنولوجيا فحسب، وإنّما أيضاً فهْم حالة الاستخدامات العملية، تحدياً كبيراً لعمليات تقييم التكنولوجيا الناشئة. وتعالج عمليتنا ذلك التحدّي من خلال تحليل التكنولوجيا إلى قدرات ذات صلة عملياتياً، واختبار صلتها العملياتية بالاعتماد على عملية محاكاة (table-top exercise [TTX])، ومن ثمّ استكشاف التداعيات، والمخاطر، واستراتيجيات التخفيف من المخاطر. إنّ العمليّة مُفصَّلَة على الشكل التالي:

1. من خلال مراجعة الدراسات السابقة والمناقشات مع الخبراء المتخصصين في المجال، نلخّص التكنولوجيا ونحدّد المجالات الرئيسية من جهد التطوير.
2. يتمّ استخدام مواضيع محددة من تطوير التكنولوجيا بمثابة محفّزٍ للمناقشات مع الخبراء العسكريين من أجل تحديد التطبيقات العسكرية المحتملة في ساحة المعركة.
3. إننا نجمّع نتائج التحليل بخصوص تطوير التكنولوجيا والصلة العملياتيّة من أجل توفير تقييمٍ عامٍّ لما إذا قد تكون واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) قيّمةً بشكلٍ محتمل في وضعيةٍ عسكريّةٍ ما، وإن كان الأمر كذلك، لكيف سيكون الأمر عليه. وتصبح هذه النتيجة المُستَخلَصَة الأوّلية الدليل الشامل لعملية محاكاة (TTX).
4. استناداً إلى التقييمات التقنية والعملياتيّة، إنّنا نستمدّ مجموعةً من قدرات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) المُتَوَقَّعة، أي مجموعة أدوات مستقبلية لواجهة الدماغ والحاسوب.
5. تُستَخدَم مجموعة أدوات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) في لعبة محاكاة تعتمد على سيناريوهات نموذجيّة تنطوي على عمليات حضريّة تكتيكيّة. تستكشف هذه اللعبة بشكلٍ أكثر توسّعاً قابلية تطبيق واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) المُتَوَقَّعَة وصلتها في ساحة المعركة.
6. إننا نستكشف على مدار هذه العملية نقاط الضعف، والمخاطر، واستراتيجيات التخفيف من المخاطر المرتبطة بواجهات الدماغ والحاسوب (BCIs) على امتداد ثلاثة أبعاد، هي: البُعد التكنولوجي، والبُعد المؤسساتي، والبُعد القانوني/الأخلاقي.

ملخّص التكنولوجيا

المقدّمة

على الرغم من أنّ إجراء مراجعةٍ شاملةٍ لمجال واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) قد يتجاوز نطاق التقرير، وعلى الرغم من أنّ الدراسات السابقة حول الموضوع موسّعة بما يكفي لدعْم الكتيّبات،[14] والجمعيّات المُخصصّة،[15] والمجلّات المُخَصَّصَة، يسلّط هذا القسْم الضوء على العمل، والمواضيع، والمنظّمات البارزة لإنارة

تقييم التطبيقات العسكرية المحتملة. ومن خلال الاعتماد على الدراسات السابقة التقنية والعامة، كما على المناقشات مع الخبراء المتخصصين في المجال، نجزّئ الموضوع إلى مجالات عمل متمايزة، موضّحين ما تستتبعه واجهة الدماغ والحاسوب بالتحديد والنوع النشط من الأبحاث. يُخْتَتَم القسْم بمناقشة للاتجاهات المستقبلية والتوجّهات المحتملة ويلخّص التحديات والمخاطر التقنيّة الأوّلية.

وفي حين نعتمد مصطلح واجهة الدماغ والحاسوب *(BCI)* على أساس انتشاره في الدراسات السابقة، تُستَخدَم مجموعة من المصطلحات ذات الصلة من أجل وصْف القدرات المماثلة، وهي: واجهة التحكّم العصبي (neural-control interface [NCI])، وواجهة العقل والآلة (mind-machine interface [MMI])، والواجهة العصبية المباشرة (direct neural interface [DNI])، وواجهة الدماغ والآلة (brain-machine interface [BMI]).

على الرغم من أنّ بعض الجدل قائمٌ بخصوص الطبيعة الدقيقة للإشارات التي يتمّ نقْلها داخل الدماغ البشري، تنطوي واجهات الدماغ والحاسوب إجمالاً على رصْد تلك الإشارات أو التأثير عليها.[17] وتتيح أدوات مختلفة من واجهة الدماغ والحاسوب للمُسْتَخْدِمين الوصول إلى هذه الإشارات واستخدامها بمستويات مختلفة من الدقّة والبضْع. باختصار، تُمكّن واجهة دماغ وحاسوب ما التواصل الثنائي الاتجاه بين دماغٍ وجهازٍ خارجيّ، وثمّة مجموعة واسعة من العمل الجاري حول هذا الموضوع. في هذا السياق، يشمل الاتجاه الثنائي بالإجمال القراءة العصبية المباشرة والتغذية الراجِعة والكتابة العصبيّة المباشرة.

وبحسب ما يعكسه التعريف المذكور أعلاه والمصطلحات البديلة، غالباً ما يتمّ التركيز على التعاون بين الإنسان والآلة، الأمر الذي يتماشى مع الحاجات الناتِجة عن الاتجاهات في الحرب. ومن الناحية العملية، توفّر واجهة الدماغ والحاسوب آليةً لدمْج نقاط القوة البشرية مع نقاط قوّة الحاسوب، ويسعى جزءٌ كبيرٌ من العمل الجاري للربط بين هاتين المجموعتين من القدرات وتحقيق مزايا تآزريّة. فتُعتَبَر فعاليّة الواجهة بين البشر والآلات، بغضّ النظر عمّا إذا كانت تسهّل التواصل عبر الشاشات أو النصّ، أو أي شكلٍ آخر، عامِلاً مهمّاً في السماح للبشر بإدارة الأنظمة والمعلومات المتزايدة التعقيد وبإمكان واجهة الدماغ والحاسوب تحسين هذه الفعاليّة.

على الرغم من أنّ التعاون بين الإنسان والآلة قد يكون مفيداً، إنّه مجرّد مجموعة فرعيّة من تطبيقات واجهة الدماغ والحاسوب. فإنّ الدراسات السابقة حول البحث والتطوير (R&D) الجاريين والتطبيقات المحتملة تتجاوز التعاون بين الإنسان والآلة، وتحتاج واجهات الدماغ والحاسوب إلى ما هو أكثر من مجرّد ربْط البشر والآلة لتوفير القيمة. بشكلٍ أكثر عموماً، توفّر واجهات الدماغ والحاسوب أسلوباً للاتصال بالدماغ البشريّ. إنّها توفّر مزيداً من البيانات. وبالتالي يمكن ربْط هذا الاتصال بآلة، أو ببرمجيات، أو بإنسانٍ آخر، أو ببساطةٍ بنظام إخراجٍ للتقييم. في الواقع، في حين يبقى التعاون بين الإنسان والآلة حجر أساس لتطوير التكنولوجيا للحرب، لا تُشير المزايا الأوسع نطاقاً لواجهات الدماغ والحاسوب باتّجاه دمْج البشر والآلات فحسب، وإنّما تشير أيضاً إلى الاستفادة من القدرات البشريّة بالإجمال.

المراجعة

في حين لم تصبح الأهميّة العمليّة لواجهة الدماغ والحاسوب (BCI) أكثر وضوحاً إلا مؤخّراً، كان العمل في هذا المجال جارياً لحوالي قرنٍ من الزمن. في الواقع، نُشِر عام 1929 عملٌ حول المخطط الكهربائي للدماغ (electroencephalogram [EEG]) البشريّ الأوّل، وهو جهازٌ يُستخدَم لتتبُّع أنماط موجات الدماغ وتسجيلها.[18] وقد صاغ جاك فيدال (Jacques Vidal) مصطلح واجهة الدماغ والحاسوب *(brain-computer interface)* عام 1973، وتواصَلَ البحث في هذا المجال منذ ذلك الحين.[19]

يُقسَم العمل حول واجهة الدماغ والحاسوب بالإجمال إلى الفئات التالية، التي توفّر إطار عملٍ لعمليات بحثنا حول الصلة العملياتيّة والقدرات التطبيقية في الأقسام المتتالية:

- نقْل البيانات من الدماغ
- التحكُّم المباشر بالأنظمة
- عِلْم الأعضاء الاصطناعيّة (prosthetics) وعلاج الشلل
- الذكاء الاصطناعي المقرون بقشرة الدماغ (cortically coupled AI) (للتدريب على أنظمة الذكاء الاصطناعي أو تشغيلها)
- نقْل البيانات إلى الدماغ، والتواصل بين الأدمغة.

يُمكن تقسيم كل واحد من هذه المواضيع بشكلٍ إضافيٍّ إلى العمل الذي ينطوي على الأنظمة الباضِعة (invasive systems) وذلك الذي ينطوي على الأنظمة غير الباضِعة (noninvasive systems). تنطوي الأنظمة الباضِعة على زرْع أجهزةٍ إلكترونيّةٍ تحت الجمجمة البشريّة، داخل الدماغ. وتتيح الجراحة للممارسين وضْع الجهاز المزروع بالتحديد حيث يكون ذلك مرغوباً من أجل رصْد مجموعاتٍ معيّنة من الخلايا العصبية التي تتحكّم بوظائف عصبية محددة، ولكنها تقترن بمخاطر صحيّة. في المقابل، توضع الأنظمة غير الباضِعة خارج الجمجمة. ففي حين يحدّ ذلك من الخطر بالنسبة إلى المُستَخدِم، تعمل الجمجمة بشكلٍ أساسيٍّ بمثابة مرشِّح وتَلُفُّ الإشارة الكهربائية.[20] تكون الإشارات التي تلتقطها الأقطاب الكهربائية الخارجيّة أقلّ وضوحاً، ويكون من الأصعب إثبات الخلايا العصبية التي تُطلِقها.

لقد تَمَثَّل جهدٌ رئيسيٌّ في تغذية أغلبية هذه المواضيع بمبادرة "برايْن" لأبحاث الدماغ من خلال النهوض بالعلوم العصبية المبتكرة (Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies [BRAIN]) في المعاهد الوطنيّة للصحة

(National Institutes of Health [NIH]). يهدف هذا الجهد على نطاقٍ واسعٍ إلى "إحداث ثورةٍ في فهمنا للدماغ البشري".[21] يضمّ شركاء مبادرة "برايْن" لأبحاث الدماغ من خلال النهوض بالعلوم العصبية المبتكرة مؤسسة العلوم الوطنية (National Science Foundation)، ووكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (DARPA)، وإدارة الغذاء والدواء الأمريكيّة (U.S. Food and Drug Administration [FDA])، ووكالة الاستخبارات لمشاريع البحث المتقدّمة (Intelligence Advanced Research Projects Agency [IARPA])، بالإضافة إلى مؤسسات، ومعاهد، وجامعات، وصناعات. وقد خَصَّصَت المعاهد الوطنيّة للصحّة 46 مليون دولار أمريكي عام 2014 و81.4 مليون دولار أمريكي عام 2015، ما يعكس الاهتمام المتنامي بهذا الموضوع.[22] بالإجمال، استَثْمَرَت وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية "مئات ملايين الدولارات" من أجل الانتقال من العلوم العصبية إلى التكنولوجيا العصبية منذ بداية القرن الواحد والعشرين.[23]

فيما يتعلّق بموضوع نقْل البيانات من الإنسان، يتمثّل هدفٌ أوّليٌ بتقييم الأداء المعرفيّ. لهذه الغاية، يستخدِم مختبر أبحاث الجيش (Army Research Laboratory [ARL]) الطباعة الثلاثية الأبعاد (3-D printing) من أجل صنْع خوذات تناسب بشكلٍ مثاليّ كل مُستَخدِم، ومن ثمّ إدخال أجهزة استشعار المخطط الكهربائي للدماغ لرصْد نشاط الدماغ.[24] وتسعى أيضاً القوى الجوية (Air Force) وراء ابتكار نظام رصْدٍ معرفيٍ شاملٍ مرتكزٍ إلى كاميرا يكون مدمجاً في خوذة الطيّار لرصْد حِمْل العمل المعرفي والتوتّر.[25] يمكن أن تكيِّف الخوذات العروض بالاعتماد على ظروف الطيّار الجسدية والعقلية الفريدة. وقد دَرَس بحثٌ منفصلٌ جرى برعاية مختبر أبحاث الجيش حلول التعلُّم العميق (الاصطناعي) للتنبؤ بحالات النعاس واليقظة بالاعتماد على قراءات المخططات الكهربائية للدماغ، واختَبَرَت الفِرق العامِلَة برعاية وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية الأجهزة المزروعة في الدماغ "المغلقة الحلقة" التي تستخدِم خوارزميات للكشف عن أنماط مرتبطة باضطرابات المزاج.[26] ويزداد في الصين انتشار أجهزة واجهة الدماغ والحاسوب المُستَخدَمَة لرصْد الأداء وحتّى الذروات العاطفية المرتبطة بالاكتئاب، أو القلق أو الغضب، حيث تشمل الاستخدامات المصانع، والنقل العام، والشركات المملوكة من الدولة، والجيش.[27]

وترتبط بالأنظمة المُستَخدَمَة لاستخراج البيانات من الدماغ البشري من أجل التقييم الأساليب المُعتَمَدَة للتحكّم المباشر بالأنظمة *(direct system control)*، حيث يتحكّم المُستَخدِمون بآلاتٍ لاسلكياً انطلاقاً من نشاط الدماغ. وفي أحد الأمثلة التي تمّ نشْرها للعامّة على نطاقٍ واسع، استَخدَمَت وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية، ومختبر الفيزياء التطبيقيّة (APL)، وجامعة بيتسبرغ (University of Pittsburgh) زَرْع واجهة الدماغ والحاسوب للسماح لامرأة مصابةٍ بالشلل الرباعي بتشغيل أجهزة محاكاة الطيران.[28] وقد صحَّح الباحثون أيضاً أخطاء الروبوتات من خلال القياس غير الباضِع لإشارات المخطط الكهربائي للدماغ.[29]

تركّز مشاريع بحثيّة أخرى على التحكُّم بالطائرات بدون طيار. فبتمويلٍ من وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية والجيش الأمريكي، يُمَكِّن الباحثون في مختبر الروبوتات الموجَّهَة من الإنسان والتحكّم (Human-Oriented Robotics and Control laboratory) مُستَخْدِماً ما من التحكّم بسربٍ من الطائرات بدون طيّار.[30] يشير باحثو المختبر إلى أنّه يمكن استخدام التكنولوجيا عملياً في المجال العسكريّ في غضون خمسة إلى عشرة أعوام. وتشمل التطبيقات أيضاً تسليم المساعدة الطبيّة، والبحث والإنقاذ، والاستكشاف، والتي تجري جميعها في بيئات نائية أو لا يمكن الوصول إليها. أخيراً، وباستخدام المعدّات الحاسوبيّة التجارية، بنى الباحثون في جامعة فلوريدا (University of Florida) نظاماً منخفض الكلفة قادراً على التحكّم لاسلكياً بطائرات بدون طيّار صغيرة وشائعة وعرضوا استخدام هذا النظام.[31]

بما يتجاوز التطبيقات العسكريّة، يجري في قطاع الرعاية الصحيّة عمل بارز متقدّم فيما يتعلّق بالتحكُّم المباشر بواجهة الدماغ والحاسوب، لا سيّما ذلك الذي ينطوي على أنظمة باضِعة. يُمَكِّن العمل في جامعة ستانفورد (Stanford University) المرضى المصابين بالشلل السفليّ من التحكّم بفأرة الحاسوب وبالبرمجيات الحاسوبية بواسطة أفكارهم.[32] وتشير الدكتورة كريشنا شينوي (Dr. Krishna Shenoy)، وهي إحدى الباحثين الرئيسيين، إلى أنّه "سيحين الوقت، وهو أقرب إلى خمسة من 10 أعوام من تاريخ اليوم، والذي سيكون فيه من الممكن استخدام نظام لاسلكي مزروع بالكامل وذاتي المعايرة بدون مساعدة مقدِّم الرعاية، ولن يكون لهذا النظام أي تأثير تجميلي، وسيكون بالإمكان استخدامه على مدار الساعة."[33]

لدمْج عِلمْ الأعضاء الاصطناعيّة، والذي يُعتبر في الأساس مجموعةً فرعيّةً من العمل المتعلق بالتحكّم المباشر بالأنظمة، تطبيقات مباشرة في قطاع الرعاية الصحيّة. ينطوي جزءٌ كبيرٌ من هذا العمل على الأنظمة الباضِعة، وذلك بشكلٍ أوليٍّ بسبب الحاجة إلى استهداف مجموعاتٍ محدّدةٍ من الخلايا العصبية بدقّةٍ عاليةٍ نسبياً. إنّ العضو الاصطناعيّ الأكثر تعقيداً من الناحية المفاهيمية هو ربّما الحبْل الشوكي (spinal cord). فقد استخدَم الباحثون الأقطاب الكهربائية لإعادة وصْل القشرة الحركيّة (motor cortex) والحبْل الشوكيّ لدى القرود والجرذان، مُعيدين قدرتها على المشي.[34] واستَخدَمَت جامعة كيس ويسترن ريزيرف (Case Western Reserve University) إجراءً مماثلاً، تُطلَق عليه تسمية التحفيز الكهربائي الوظيفي *(functional electrical stimulation)*، لتمكين حركة الذراع واليد من خلال تجاوُز الحبْل الشوكيّ وحثّ تحفيز العضلات مباشرةً.[35] وفي سياق برنامج

إحداث ثورة في علْم الأعضاء الاصطناعيّة (Revolutionizing Prosthetics program)، واصَلَت وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية ومختبر الفيزياء التطبيقيّة بحثاً متعلّقاً بالأطراف الاصطناعية لليديْن والذراعيْن المُمَكَّنة من واجهة الدماغ والحاسوب والتي تستخدِم التحفيز المجهري داخل قشرة الدماغ (intracortical microstimulation) لتوفير التغذية الراجِعة للمُستَخدِم (مباشرةً إلى الدماغ) وإثارة الأحاسيس التي تَصَوَّرَ المُستَخدِم أنّها تأتي من يده/يدها.[36] وقد وسَّع مختبر الفيزياء التطبيقيّة عمله ليدرس كيفية تفسير مُستَخدِمي واجهة الدماغ والحاسوب للتحفيز المجهري داخل قشرة الدماغ الخارجي والموفَّر اصطناعياً، حتّى وإن اختَلَفَ نوع المعلومات التي يتم توفيرها عما كانت منطقةٌ ما من الدماغ لتعالجها بشكلٍ طبيعيّ. واستخدَم بعدئذٍ هذه المقاربة لتزويد مستخدِم واجهة الدماغ والحاسوب بمعلوماتٍ حول الملاحة من محاكاةٍ لطائرةِ موني برافو (Mooney Bravo).[37]

يُمكن استخدام البيانات (أو المعلومات) من دماغٍ بشريٍّ ليس من أجل إنارة أدوات التقييم أو الدفْع بالأنظمة فحسب، وإنّما أيضاً من أجل إنارة البرمجيات التي تستخدِم الذكاء الاصطناعي المقرون بقشرة الدماغ *(cortically coupled AI)*. فبدلاً من استخدام إشارات الدماغ للتحكّمِ بحاسوبٍ أو بنظامٍ ما، "يستشعر بانتهازية نظام حاسوب مقرونٌ بقشرة الدماغ حالة الدماغ، مُلتقطاً احتساب المُستَخدِم الضمنيّ أو الصريح، وينقل بالتالي هذه المعلومة إلى نظام حاسوب تقليديّ عبْر واجهةٍ عصبية."[38] وبالتالي، قد تساعد هذه المعلومة بشكلٍ محتملٍ في التدريب على نظام ذكاءٍ اصطناعي. يُمثِّل هذا الاستخدام لواجهة الدماغ والحاسوب ارتفاعاً في مستوى التعاون بين الإنسان والآلة، ما يتيح لإنسانٍ ما التفكير بالاعتماد على آلةٍ ما (أو حاسوبٍ ما) أو، بشكلٍ أكثر تحديداً، دمْج الأفكار أو البيانات البشريّة في عمليّةٍ تجريها آلة. قد ينفي تفاعُل واجهة الدماغ والحساوب في الوقت الآني المتطلبات الحالية التي تقضي بالحصول على رموز حاسوب محدّدة مسبقاً لنقْل المعلومات، معالِجاً أحد المآزق الرئيسية التي يقترن بها الدمج التقليدي بين الإنسان والآلة.[39] يُعتَبَر هذا التعاون ذا أهميّة خاصّة بالنسبة إلى أعضاء مجتمع الذكاء الاصطناعيّ الذين يستكشفون أساليب ومقاربات لإدارة الذكاء الاصطناعي و"التحكّم به". وقد تكون واجهة الدماغ والحاسوب قادرةً على توفير هذه الأداة. يشير إيلون ماسك (Elon Musk)، وهو مؤسِّس نيورالينك (Neuralink)، بصفتها شركة جديدة نسبياً تركِّز على دمْج البشر مع الذكاء الاصطناعي، إلى أنّ "بعض الواجهات ذات عرض نطاق تردد كبير مع الدماغ ستكون أمراً يساعد على تحقيق تكافُل بين الذكاء البشري والذكاء الآلي ويحلّ ربما مشكلة التحكّم ومشكلة المنفعة. ..."[40]

بالإضافة إلى استخراج البيانات من الدماغ، يجري أيضاً العمل على استكشاف القدرة على الزرع أو على نقْل المعلومات إلى الدماغ بحدّ ذاته. ويكمن تحدٍّ كبيرٌ يعترض تمكين نظامٍ فعّالٍ والتحكّم بعضو اصطناعي في التغذية الراجِعة للمُستَخدِم، مع توفير معلومات حول النظام الذي يتمّ التحكُّم به. وعلى الرغم من أن المرضى في وضعية مختبر قد يكونوا قادرين على التحكّم بطرفٍ اصطناعيٍّ لليد باستخدام واجهة دماغٍ وحاسوب، فهم لن يدركوا مثلاً بالضرورة مكان الطرف الاصطناعي ليدهم بدون رؤيته، ما لم يتمكّنوا من النظر إليه مباشرةً للحصول على تغذيةٍ راجِعةٍ بصريّة.

لقد بَرهَنَ بحثٌ أُجرِيَ في مركز وايك فوريست بابتيست الطبي (Wake Forest Baptist Medical Center) وجامعة كاليفورنيا الجنوبية (University of Southern California)، بتمويلٍ من برنامج استعادة الذاكرة النشطة (Restoring Active Memory) التابع لوكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية، عن نجاحٍ أوّليٍّ على مستوى تحسين الذاكرة باستخدام الأقطاب الكهربائيّة المزروعة جراحياً، وهي سلسلة من الأبحاث التي تَعِد بمعالجة مرض خَرَف الزهايمر (Alzheimer's disease)، والسكتات الدماغية، وإصابات الرأس.[41] فمن خلال تعزيز الأنماط العصبية المُسَجَّلَة من تجربة مريضٍ ما (أي، رؤية صورة خاصّة) تَمَكَّن الباحثون من تحسين الذاكرة العَرَضِية (episodic memory) وهي النوع الأكثر شيوعاً من فقدان الذاكرة لدى

يمكن استخدام التيّارات المباشرة غير الباضِعة أي غير الجراحية (noninvasive) (transcranial direct currents) عبر الجمجمة لمعالجة الاكتئاب والسكتات الدماغيّة، ولزيادة مستوى التركيز والانتباه، ولتقصير وقت التدريب، ولتحسين التدريب الجسدي بشكلٍ محتمل.

ويتمثّل امتدادٌ طبيعيٌّ للبحث الذي يهدف إلى قراءة إشارات الدماغ وإرسال معلومات أو زرْعها في الدماغ بالتواصل بين الأدمغة (*brain-to-brain communication*).

الأشخاص المصابين بمرض خَرَف الزهايمر، والسكتة الدماغيّة، وإصابة الرأس. لقد لاحَظَ الباحثون تحسّناً بنسبة 35 في المئة في الذاكرة الأساسيّة القصيرة المدى لدى الأشخاص المصابين.[42] وأشار الباحثون إلى "أنّها المرّة الأولى التي تَمَكَّن فيها العلماء من تحديد رمْز خلية الدماغ لمريضٍ ما أو نمط ذاكرته، وبشكلٍ جوهري، "كتابة" ذلك الرمز لجعْل الذاكرة الموجودة تعمل بشكلٍ أفضل، وهي خطوة أولى مهمّة في استعادة فقدان الذاكرة بشكلٍ محتمل. ..." وفي الوقت الذي رَكَّز فيه هذا العمل على تحسين مهارات الذاكرة الموجودة، قد يعزّز العمل المستقبليّ القدرة على الاحتفاظ بذكريات محدّدة مع بدء ضُعْف مهارة الذاكرة. يمكن استخدام التيّارات المباشرة غير الباضِعة أي غير الجراحية، عبر الجمجمة، لمعالجة الاكتئاب والسكتات الدماغيّة، ولزيادة مستوى التركيز والانتباه، ولتقصير وقت التدريب، ولتحسين التدريب الجسدي بشكلٍ محتمل (مع تركيزٍ على القشرة الحركيّة).[43]

ويُطوّر برنامج تصميم نظام الهندسة العصبية (Neural Engineering System Design [NESD]) التابع لوكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية أنظمةً باضِعةً تستطيع التواصل بوضوحٍ وبشكلٍ فرديٍّ مع أي خلية عصبية وبما يصل إلى مليون خلية عصبية في منطقةٍ معيّنةٍ من الدماغ، ويشمل ذلك القدرة على النقل إلى الدماغ والقراءة من الدماغ على حدٍّ سواء بالاعتماد على بعض الخلايا العصبية.[44] وفي حين قد تدمج الأجهزة الباضِعة الحالية ما يُقارب المئة قناة، يسعى هذا المشروع إلى قراءة 10^6 خلية عصبية، والكتابة لـ10^5 خلية عصبية، والتفاعل مع ازدواجٍ كاملٍ من 10^3 خلية عصبيّة، وهو مقياسٌ أكبر بكثير مما هو ممكن بفضل التكنولوجيا العصبية القائمة.[45] وينطوي برنامجٌ آخر لوكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية، وهو برنامج الجيل القادِم من التكنولوجيا العصبية غير الجراحيّة (Next-Generation Nonsurgical Neurotechnology [N^3]) على نظامٍ غير باضِع قادرٍ على القراءة من نقاط متعددة في الدماغ والكتابة لها في آنٍ واحد.[46]

يتمثّل امتدادٌ طبيعيٌّ للبحث الذي يهدف إلى قراءة إشارات الدماغ وإرسال معلومات أو زرْعها في الدماغ بالتواصل بين الأدمغة. فبتمويلٍ من مختبر الفيزياء التطبيقيّة، أجرى الباحثون في جامعة واشنطن (University of Washington) دراسةً إرشاديّةً لنظامٍ غير باضِع يستخدم المخطط الكهربائي للدماغ من أجل قراءة إشارات الدماغ الأساسيّة، ونقْلها عبْر الإنترنت، ومن ثمّ تحويل الاستجابات الحركيّة إلى مُستَخدِمٍ ثانٍ باستخدام التحفيز المغناطيسي عبر الجمجمة (transcranial magnetic stimulation).[47] تُمثّل الإشارات أفعالاً أساسيّةً جداً في سياق لعبة فيديو بسيطة، مثل تَنَقّل يساراً أو يميناً. على الرغم من ذلك، وبالتحديد لأنّه يتمّ نقْل هذه الإشارات عبْر الإنترنت، يقترن بطبيعته احتمال إرسال حتّى أفكار أساسيّة عبْر الإنترنت بعددٍ من الفرص وبعددٍ من المخاطر من حيث الأمن والأخلاقيات. ويوسّع المؤلّفون نطاق هذا الجهد لإشراك خمس مجموعات مُكوَّنَة من ثلاثة أفراد.[48] لقد أرسل فَرْدان معلومات، وتلقّى الفرد الثالث المعلومات، في الوقت الذي شارك فيه الثلاثة جماعياً في لعبةٍ تشبه لعبة التِتريس (Tetris). ويأتي هذا العمل بعد تجارِب مبكرةٍ في مجال نقْل الإشارات بين الجرذان[49] ومن إنسان إلى جرذ.[50]

اتّجاهات التطوير والتحديات التقنيّة

اتّجاهات التطوير

يُعنى بالإجمال الاتّجاه بالنسبة إلى أغلبية العمل المتعلّق بواجهة الدماغ والحاسوب (BCI) بكميّة البيانات التي يتمّ نقْلها وبنوعيتها. من المرجّح أن تزداد الدقّة التي يمكن بها استخراج البيانات ونقْلها من الدماغ البشريّ.[51] ومن المرجّح أن يتحسّن عرْض نطاق تردّد الإشارات. فقد استثمر مثلاً برنامج تصميم نظام الهندسة العصبية التابع لوكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (DARPA's NESD) في البحث حول الواجهات العصبية المزروعة من أجل استعادة الحسيّة التي قد تُشرِك ما يصل إلى مليون خليّة عصبية في آنٍ واحد.[52] واعتباراً من يوليو/تموز 2019، قدَّم أحد المستفيدين من المنحة، بقيادة جامعة براون (Brown University)، أجهزةً مزروعةً بقياس 0.25 ميليمتر مربّع، تُسمّى "الحبيبات العصبية" ("neurograins")، وتُتيح التواصل الثنائي الاتجاه اللاسلكي مع جهازٍ خارجيٍّ مع معدّل إرسال عبْر الوصلة الصاعِدة (uplink rate) يصل حتى 10 ميغابِت في الثانية.[53] واعتباراً من يناير/كانون الثاني 2020، أعلَن مستفيدٌ آخر من المنحة، وهو شركة بارادروميكس (Paradromics)، عن واجهة

دماغ وحاسوب جديدة مزروعة بمعدّل بيانات مرتفع يمكنها أن تُعالِج البيانات العصبية وتنقلها على مستوى تبديد طاقة أدنى بستين مرة من المقاربات القائمة، مُتيحةً نقْل مزيدٍ من البيانات بمستوى أدنى من خطر فرْط ارتفاع حرارة الدماغ.[54]

وعلى الرغم من عدم توفُّر إثباتٍ للمفهوم حالياً بالنسبة إلى هذه التكنولوجيا، قد يتمثّل أحد الحدود المحتملة في نقْل البيانات من الدماغ البشريّ بالتقييمات اللاسلكية عن بُعد والطويلة المسافة. فقد تتيح هذه التقييمات للقادة تقييم حالة جنودهم أو حتّى حالة العدو من مسافاتٍ طويلة. بالمثل، قد يكون من الممكن استخدام واجهة الدماغ والحاسوب في تجميع تقييم مجموعةٍ ما. فعلى سبيل المثال، قد يكون من الممكن استخدام واجهة الدماغ والحاسوب من أجل رصْد عبء العمل المعرفي لدى فرقةٍ ما. أما بالنسبة إلى التحكّم المباشر بالأنظمة، ستدعو الحاجة إلى مزيدٍ من العمل لنقْل مُعالَجات أو استراتيجيات معقّدة مع مقاومة حالات تَشَتُّت الانتباه.

أمّا بالنسبة إلى علْم الأعضاء الاصطناعيّة، تؤسس الخطوة القادمة وصلات عصبية جديدة. تنطوي حالياً الجهود المبذولة في مجال واجهة الدماغ والحاسوب بخصوص علْم الأعضاء الاصطناعيّة على إعادة وصْل الخلايا العصبية القائمة بالأنظمة الجسدية. من الأكثر صعوبةً توفير القدرة على التحكّم بعضو اصطناعيّ (وبالخلايا العصبية المرتبطة به) لم يكن موجوداً البتة. بالإضافة إلى ذلك، تدعو الحاجة إلى مزيدٍ من العمل لتوفير تغذيةٍ راجعةٍ متعلقة باستقبال الحسّ العميق (proprioceptive feedback) مباشرةً للدماغ من أجل تحسين التحكُّم الثنائي الاتجاه بواسطة واجهة الدماغ والحاسوب بالأطراف الاصطناعية. وبالنسبة إلى نقْل البيانات إلى الدماغ، فإنّ الهدف الأسمى هو توفير معلومات مباشرة وعالية الدقّة للدماغ (مثلاً الأجهزة المزروعة للذاكرة المعزولة). وعلى غرار التقييمات عن بُعد والطويلة المسافة، ليست هذه القدرة مُجدية حتّى الآن ولكنها تبقى مع ذلك هدفاً لمجال واجهة الدماغ والحاسوب.

يتمثّل توقّعٌ مثيرٌ للاهتمام بشكلٍ خاصٍّ بالنسبة إلى واجهة الدماغ والحاسوب بدمْجها مع إنترنت الأشياء (Internet of Things [IoT])، الذي يصل الأنظمة عبر الإنترنت. ترى وزارة الدفاع الأمريكيّة (DoD) أنّ إنترنت الأشياء قد يساهم في تحسين الجهوزيّة من خلال السماح لأحدهم برصْد حالة التجهيزات وأنظمة الأسلحة في الوقت الآني، وهو بالتالي يصبح واسع الانتشار.[53] فلإنترنت الأشياء تطبيقات تكتيكية، بما فيها إتاحة وصول المحاربين إلى أجهزة الاستشعار والبيانات، وقد تعزّز واجهة الدماغ والحاسوب هذه القدرة.[56]

يجادل البعض أنّ اتجاه هذه التكنولوجيا سيتّبع في نهاية المطاف السوق.[57] فمع ازدياد التركيز على ريادة الأعمال، قد ينتج الباحثون والأكاديميون على الأرجح تكنولوجيا جديدة، وستدفع الكيانات التجارية بالتطوير استناداً إلى طلب السوق.

وللتأكُّد، تسعى شركات مثل كيرنيل (Kernel)،[58] ونيورالينك (Neuralink)،[59] وبارادروميكس (Paradromics)[60]، وفيسبوك (Facebook)[61] بنشاطٍ وراء قدرات واجهة الدماغ والحاسوب. وقد يكون لسيناريو تهيمن فيه الصناعة التجاريّة على هذا المجال وضعان. لا شكّ أنّه باستطاعة الصناعة تلبية الحاجات التي توجِّه التكنولوجيا، ولكن قد تدفع الصناعة أيضاً بالتكنولوجيا بحسب الربحية المتوقَّعة. وقد يكون من المفيد وجود سياسات ذات صلة قائمة قبْل أن يدفع السوق بالتكنولوجيا.

التحدّيات والمخاطر التقنيّة

على الرغم من المستقبل المثير للاهتمام والديناميكي الذي قد تكشف عنه واجهات الدماغ والحاسوب (BCIs)، ثمّة بطبيعة الحال تحدّيات ومخاطر تكنولوجيّة. وقد يكون التحدّي التكنولوجي الأهم في تطوير واجهة الدماغ والحاسوب هو المفاضلة بين وضوح الإشارة والقدرة على استهداف خلايا عصبيّة محددة والتي توفّرها الأنظمة الباضِعة أي غير التوغلية أو جراحية من جهة، وسهولة الاستخدام مع الأنظمة غير الباضِعة أي غير التوغلية أو جراحية من جهةٍ أخرى.[62] يسعى حالياً برنامج الجيل القادم من التكنولوجيا العصبية غير الجراحيّة التابع لوكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (DARPA's N^3) إلى معالجة بعض هذه التحديات من خلال تطوير نظامٍ غير باضِعٍ نقّالٍ قادرٍ على القراءة من نقاط متعدّدة في الدماغ والكتابة لها في آنٍ واحد.[63]

وتقترن الأنظمة الباضِعة أي غير التوغلية أو جراحية، التي توفّر إشارات بمستوى أعلى من الدقّة، بالمخاطر المرتبطة بأي عملية جراحيّة، بما فيها النزيف، أو الإصابة بعدوى، أو تلف الدماغ. قد تُحفِّز الأقطاب الكهربائية أيضاً الإصابات بالعدوى وهي قد تتحلّل مع الوقت. يحدّ التندّب والإرهاق (عندما تتوقف الركائز العصبيّة عن الاستجابة) من قوّة الإشارة. ويُعتبر التوافق الحيويّ (البيولوجيّ) [biocompatibility] أيضاً محدوديّةً مهمّة. بالإضافة إلى ذلك، تتآكل جميع الأجهزة المزروعة الحالية، وبالتالي تحدّ من مدّة صلاحيتها. تدوم حالياً أجهزة الاستشعار المُستخدَمَة لأغلبية واجهات الدماغ والحاسوب المزروعة لحوالي عامين إلى خمسة أعوام فقط، على الرغم من أنّ بعض العمل الأوّلي ينطوي على أجهزة استشعار تتلقّى إشارات لمدّة تطول بين سبعة وثمانية أعوام. ويبقى الحدّ من صلابة جهاز الاستشعار، وحجمه، وإمكانية تَحَلُّله مع الحفاظ في الوقت عينه على نوعية الإشارة تحدّياً مستمراً. ويُعتبر تطوير أجهزة استشعارٍ مع قنوات إضافيّة لتحسين الدقّة والحدّ من استخدام جهاز الاستشعار للطاقة، ما قد يتسبب بتلف الأنسجة، تحديين إضافيين. كما يقترن تثبيت أجهزة الاستشعار بدقّة على الدماغ بتحديات أيضاً. بالإجمال، ما زالت المعَدّات الحاسوبية اللازمة لواجهة الدماغ والحاسوب (المُضخّمات، والكابلات، وأجهزة الاستشعار، إلخ.) كبيرة جداً ليتم استخدامها بشكلٍ عمليٍّ خارج مختبر.

وباستخدام الأنظمة الباضِعة وغير الباضِعة على حدٍّ سواء، يتمّ بعدئذٍ تحليل البيانات التي تمّ جمْعها من الخلايا العصبيّة، ويُمثّل فكّ التشفير الدقيق تحدّياً آخر مع تقدُّم واجهة الدماغ والحاسوب. غالباً ما ينطوي فكّ التشفير هذا على شكلٍ معيّنٍ من التعلُّم الآلي لتقييم الأداء، والذي يتعطّل في حال تغيُّر الفرد، أو المهمّة، أو الإطار الزمنيّ. بالإضافة إلى ذلك، تُعتبر خوارزميّات فكّ التشفير غير مستقرّة وتتطلّب إعادة معايرة منتظمة، وذلك جزئياً لأنّ موضِع الخلايا العصبيّة يتغيّر بالنسبة إلى الأقطاب الكهربائية، وتتغيّر أنماط الإطلاق طبيعياً. وللتأكّد، يُعتبَر التعلُّم الآلي مجال بحث نشطاً، بما في ذلك أساليب تعميم النتائج حيث يجوز استخدام خوارزميّة مُتدرِّبة على مجموعةٍ واحدةٍ من البيانات بدقةٍ مقبولةٍ على مجموعةٍ جديدةٍ ومختلفةٍ اختلافاً بسيطاً من البيانات الداخِلة.

على الرغم من المخاطر التقنيّة المذكورة أعلاه والتي يجب معالجتها، تشير التطبيقات والقدرات الكامنة التي يتمّ استكشافها حالياً فيما يتعلّق بواجهة الدماغ والحاسوب إلى أنّه قد يكون لواجهة الدماغ والحاسوب استخدامات قابلة للتطبيق في سياق الحرب. وبالتالي، تنظر الأقسام التالية في التداعيات العملياتيّة الناتِجة عن استخدام واجهات الدماغ والحاسوب في وضعيّةٍ عسكريّة.

الاعتبارات العمليّاتيّة

المقدّمة

لطالما مَدَح المُنَظِّرون والممارسون العسكريّون العقل البشريّ على أنّه مُحَدِّدٌ حاسمٌ للنجاح العسكري. فهل باستطاعة الرابط المباشر بين الدماغ وجهازٍ خارجيٍّ تحسين أداء محاربٍ ما؟ استناداً إلى اللمحة حول تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) الناشئة الواردة في القسْم السابق، يبدأ القسْم التالي باستكشاف كيفية التمكّن من تطبيق تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب في سياقٍ عسكري.

ترسم عدستان إطار المناقشة. تنظر الأولى في السمات ذات الصلة لتجربة المحارب المستقبليّ لاستقراء التطبيقات المحتملة لواجهة الدماغ والحاسوب. وتعتمد الثانية على المواد المفتوحة المصدر من منظّمات الأبحاث العسكريّة الأمريكيّة والمناقشات مع الخبراء المتخصصين في المجال من أجل تحديد المفاهيم القائمة لكيفيّة التمكّن من تطبيق واجهة الدماغ والحاسوب حتّى في البيئة العمليّاتيّة الحاليّة. ينير هذا التحليل إدخال مجموعة أدوات واجهة الدماغ والحاسوب، والتي تؤدّي دور حجر الزاوية المفاهيمي لعملية محاكاة واجهة الدماغ والحاسوب (BCI TTX) التابعة لمؤسسة RAND.

واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) والمحارِب المستقبليّ

يشير العالِم البريطاني سير لورانس فريدمان (Sir Lawrence Freedman) في عمله حول تاريخ مستقبل الحرب إلى أنّه "لم يَعُد هناك نموذجٌ مُهيمنٌ للحرب المستقبليّة، وإنّما ثمّة بدلاً من ذلك مفهوم غير واضح ومجموعة من الاحتمالات التكهّنيّة."[64] ويحدِّد عمله بالفعل بعض المواضيع الاستراتيجيّة الحديثة التي تمّت معالجتها في الدراسات السابقة حول الحروب المستقبلية، بما فيها زيادة انتشار الحروب الهجينة، والحرب الإلكترونيّة، واستخدام الروبوتات والطائرات بدون طيّار، وظهور المدن الضخمة وتغيُّر المناخ، باعتبارها مواقع ومحفّزات للحروب المستقبلية.[65] ويتوقّع أيضاً منظورٌ صادرٌ عن مؤسسة RAND لعام 2019 (2019 RAND Perspective) اتّجاهات استراتيجيّة واسعة متعدّدة لمستقبل الحرب وهي: زيادة التنافُس على الهيمنة الإقليميّة، وصعوبة الدفاع عن البلدان أو المجالات المعزولة، وتراجُع التفوّق العسكري الأمريكي الكيفي (الوصفي) والكمّي، وعدم وضوح الخطوط الفاصلة بين الحرب والسلم، واستمرار الحرب ضدّ الإرهاب.[66] بالإضافة إلى ذلك، يُثير أيضاً ازدياد التركيز على التنافُس الاستراتيجي بين الدول واحتمال نشوء صراعات مع الخصوم شبه المكافئين إمكانية أن يسيطر الخصوم المستقبليون على مزيدٍ من الموارد والقدرات التكنولوجية المتطوّرة مما فَعَل أولئك في العقود الأخيرة. على الرغم من ذلك، وبحسب ما استنتجه تقريرٌ صادرٌ عن المعهد المَلَكي للخدمات المتّحدة (Royal United Services Institute) عام 2019 عن البيئة العمليّاتيّة المستقبليّة، إنّ الاستراتيجيات المضادة للغرب "ديناميكيّة وآخذة بالتقدّم" وهي "تختلف بحسب السياق، والأساليب، والطرق، والأرض."[67]

أما على المستوى العملياتي، فقد يكون طابع الحرب والتجارب القتالية للمحارب البشريّ مدفوعةً إلى حدٍّ كبيرٍ من التقدُّمات السريعة في الابتكار التكنولوجي العسكري.[68] وفي حين تطوِّر الولايات المتّحدة والخصوم المحتملون على حدٍّ سواء تكنولوجيات جديدة لساحة المعركة وتنشرها، من المرجّح أن تتطوّر العلاقات التعاونيّة بين البشر والآلات وتفرض متطلّبات جديدة على حمْل العمل المعرفيّ لمحاربٍ مستقبليّ. وبالنسبة إلى التطبيق المحتمل لواجهة الدماغ والحاسوب، من المرجّح أن يكون للمحارب المستقبليّ متطلبات متزايدة من أجل:

- استيعاب كميات كبيرة من البيانات من شبكةٍ واسعة النطاق من البشر والآلات وتوليفها
- اتّخاذ قرارات بسرعةٍ أكبر بفضل التقدّمات على مستوى الذكاء الاصطناعي (AI)، وتعزيز الاتصال، والأسلحة المستقلّة
- الإشراف على عددٍ أكبر وأنواع أكثر من الروبوتات، بما فيها أسراب الروبوتات.

ويتمثّل موضوعٌ متكرّرٌ في المناقشات حول المعرفة والقتال المستقبلي بأنّه من المرجّح أن تتعقّد عملية صنْع القرارات بفعل

توليف الكميّات الهائلة من المعلومات.[69] فخلال القتال البرّيّ مثلاً، قد تشمل مصادر المعلومات أدوات على غرار شبكات أجهزة الاستشعار الصوتية (acoustic sensor networks)، التي قد توفّر موقع إطلاق النار البعيد، أو أنظمة تتبُّع الطائرات بدون طيّار للكشف عن أسراب الروبوتات.[70] وفي ساحة معركة مستقبليّة يُحددها إنترنت الأشياء (IoT)، قد تغمر الأجهزة الذكية، وأجهزة الاستشعار التي يرتديها الجنود، والطائرات بدون طيّار العسكريين ببيانات يمكنهم الاستناد إليها للتصرف.[71] قد تُحسِّن البيانات الواسعة النطاق ومصادر المعلومات الجديدة التوعية بالأوضاع السائدة المستقبليّة ولكنّها قد تعقّد أيضاً الاعتبارات بالنسبة إلى صانعي القرارات العملياتيين لدى المعالَجَة. وسيوسِّع الاتصال المعزَّز المصادر ويزيد السرعة التي يتمّ بها نقْل المعلومات بين البشر أو بين البشر والآلات. وقد تتراوح هذه المعلومات من الاتصالات الشبكيّة بين جهاز محاكاة من نوع F-35 وأجهزة الجيل الرابع النظيرة خلال عملية ما إلى تحديثات حالة الجهوزيّة في الوقت الآني للمعدّات البريّة وأنظمة الأسلحة.[72] ومن غير المفاجئ أنّ الوحدات العسكريّة تسعى أصلاً وراء طرقٍ لتسهيل التدفُّق السريع والواسع النطاق للبيانات بين المحاربين وصانعي القرارات من أجل تحسين التشغيل السلس للأنظمة العسكرية المترابطة.[73] فقد تشكّل أنظمة واجهة الدماغ والحاسوب أداةً مستقبليّة محتملةً لدعم هذا المسعى، ما يتيح للمحلّلين وللمشغّلين البشريين رصْد كميّات أكبر من المعلومات واستخدامها بفعالية أكبر.[74]

ولمعالجة احتمال حِمل المعلومات الزائد، من المرجّح أن ينخرط العسكريون المستقبليون بشكلٍ أوسع مع الذكاء الاصطناعي (AI). ففي ساحة المعركة المستقبلية، قد تساعد أدوات الذكاء الاصطناعي المشغّلين البشريين في تقييم بيئةٍ ما، ومعالَجَة البيانات، والسماح في نهاية المطاف للمشغّلين باستيعاب كميّات أكبر من المعلومات.[75] وقد سعى الجيش الأمريكي أصلاً إلى الاستفادة من الذكاء الاصطناعيّ من أجل "التخفيف من الحمْل المعرفي" على عاتق المحاربين المستقبليين باعتباره غرضاً أساسيّاً من حيث القدرة لاستراتيجية الأنظمة الروبوتية والمستقلّة لعام 2017 (Robotic and Autonomous Systems strategy) التابعة له.

نظراً لزيادة دمْج الذكاء الاصطناعي والاتصال السريع في العمليات العسكرية، ستستمرّ وتيرة الحرب بالتسارع.[77] وبالتالي، ستزداد أيضاً السرعة التي يَلْزَم اتّخاذ القرارات بها. ففي العقود المقبلة، من المرجّح أن تسعى الولايات المتّحدة والمنافسون شبه المكافئين وراء طرق جديدة لتسريع دورات القرارات.[78]

أخيراً، قد يحتاج المحارب البشري المستقبلي إلى الإشراف على عددٍ أكبر من الأنظمة المستقلّة وشبه المستقلّة والتفاعل معها.[79] ويجوز دمْج أسراب الطائرات بدون طيّار على المستويين التكتيكي والعملياتي في بيئات حضريّة معقّدة.[80] وستدمج العمليات

لمعالجة احتمال حِمل المعلومات الزائد، من المرجّح أن ينخرط العسكريون المستقبليون بشكلٍ أوسع مع الذكاء الاصطناعي (AI).

البريّة المستقبليّة الروبوتات في سلسلات الإمداد واللوجستيات.[81] يستطيع أصلاً العسكريون التطلُّع إلى الطائرات بدون طيّار التي تحلّق فوق منطقة القتال لأغراض الاستخبارات، والمراقبة والاستطلاع (ISR) والدعم الجوّي الوثيق. قد تشمل التطبيقات القتالية الإضافيّة للآلات مثلاً روبوتاً قد يكون الأوّل الذي يدخل مبنى ما ويطلق النار، وهو ما يُمثّل حالياً أحد الأدوار الأكثر دمويّةً في حربٍ حضريّة.

تطبيقات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) المحتملة في القتال المستقبليّ

في سياق هذه الاتجاهات التكنولوجيّة والعملياتيّة للبيئات العسكرية، يلخّص هذا القسْم التطبيقات ذات الصلة والمحتملة، بالاعتماد على الدراسات السابقة والتغذيات الراجِعة من الخبراء المتخصصين في المجال. عموماً، يمكن تطبيق واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) من الناحية النظريّة لمساعدة المحاربين المستقبليين على اتّخاذ قرارات أكثر استنارةً ضمن إطارٍ زمنيٍّ أقصر أو للانخراط بمزيدٍ من الفعاليّة مع عددٍ أكبر من الأنظمة الروبوتيّة بالمقارنة مع نظرائهم الحاليين.

تشير الدراسات المختبريّة إلى أنّ واجهات الدماغ والحاسوب قد تستطيع تعزيز سرعة عملية صنْع القرارات البشرية ودقّتها على حدّ سواء.[82] ففي فريقٍ مستقبليٍّ لواجهة الدماغ والحاسوب، قد ينقل الذكاء الاصطناعي نظرياً تحليل البيانات الأوّلية من طائرةٍ أو من طائرةٍ بدون طيّار مباشرةً إلى المراكز ذات الصلة من دماغ مشغّلٍ ما للحدّ من الحِمْل المعرفي بشكلٍ إضافيّ.[83] ويمكن بالتالي أن تُسَرّع واجهة الدماغ والحاسوب في القتال حلقة "راقِب، وجِّه، قرِّر، تصرَّف" (observe, orient, decide, act [OODA]) لدى مشغّلٍ ما، من خلال طرقٍ جديدةٍ لعرْض المعلومات وتجاوُز الحواس الجسديّة.[84] بالتالي، تذكر وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (DARPA) قدرة الأفراد العسكريين المحتملة على "تيسير الاضطلاع بمهام متعددة بسرعة التفكير" و"التفاعل مع وسائل

المساعَدَة على اتّخاذ القرارات الذكية" باعتبارهما مبررَيْن منطقيَّيْن لاستثمارها في تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب غير الباضِعة أو الباضِعة بدقّة.[85]

ويمكن أيضاً استخدام واجهة الدماغ والحاسوب لانخراط أكثر فعاليّةً مع الذكاء الاصطناعي من أجل المساعَدَة في الحفاظ على الإشراف البشريّ على القرارات العملياتيّة ضمن إطار زمنيّ ضيّق. فقد افترض بعض العلماء أن ساحة معركة مُمكّنة من الذكاء الاصطناعي قد تؤدّي إلى زحزحة الطَوْر في حربٍ تتجاوز فيها وتيرة العمليات سرعة عملية صنْع القرارات البشريّة. وقد أشار بعض العلماء الصينيين إلى هذا الأمر بمصطلح التفرُّد في ساحة المعركة *(battlefield singularity)*.[86] كما أشار بعض العلماء الأمريكيين إلى هذا المفهوم بمصطلح الحرب المفرطة *(hyperwar)*.[87]

إذا كانت هذه الفرضيّة بشأن دور الذكاء الاصطناعيّ والمكننة في الحرب دقيقة، قد تكون الحال أنّ واجهة الدماغ والحاسوب هي الطريقة الوحيدة للحفاظ على انخراط البشر الفعّال في عملية صنْع القرارات في الحرب ومواكبة الآلات. في هذا العالَم، ليس اعتماد واجهة الدماغ والحاسوب ودمْج البشر بفعالية مع الآلات مجرّد منفعة تكتيكيّة، وإنّما المنفعة الاستراتيجيّة المركزيّة في الحرب. فقد تيسّر أنظمة واجهات الدماغ والحاسوب القتال المرتكِز إلى نموذج "القنطور"، مُستفيدةً من "دقّة المكننة وموثوقيتها بدون التضحية بصلابة الذكاء البشري ومرونته."[88] وقد يتمثّل سؤالٌ أساسيٌّ في ساحة المعركة بما إذا قد تسمح واجهة الدماغ والحاسوب للبشر باتّخاذ قرارات ذات مغزى ضمن وتيرات العمليات المستقبلية المدفوعة من الذكاء الاصطناعي.

علاوةً على ذلك، قد توفّر واجهة الدماغ والحاسوب منافع محتملة للمشغّلين البشريين الذين يسعون إلى إدارة الآلات الروبوتيّة المستقبلية، أو مجموعات الآلات، في سياق القتال. وبحسب ما أشار إليه المدير السابق لبرنامج وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية آل إيموندي (Al Emondi)، "مع اقترابنا من مستقبلٍ ستؤدي فيه الأنظمة المستقلّة بشكلٍ متزايدٍ دوراً أكبر في العمليات العسكرية، قد تساعد تكنولوجيا الواجهة العصبية المحاربين في بناء تفاعلٍ أكثر بديهيّةً مع هذه الأنظمة."[89] ومن الناحية العملية، قد تُتيح القدرة على تحقيق التحكُّم بمركبة، أو روبوت، أو سرب طائرات بدون طيّار بدون استخدام اليدين من خلال واجهة الدماغ والحاسوب للمشغّلين استخدام أيديهم لتأدية مهامٍ أخرى، مثل حَمْل سلاحٍ تقليديّ. ويُحتَمَل أن تتيح واجهة الدماغ والحاسوب أيضاً للمشغّلين تنفيذ عددٍ أكبر من الأمور المتعلّقة بسربٍ بالمقارنة مع ما قد يتيحه التشغيل اليدوي. فقد استَنْتَجَت دراسةٌ أجرتها منظّمة حلف شمال الأطلسي (الناتو) (North Atlantic Treaty Organization) عام 2009 أنّ الهدف من تَحَكُّم مُشغّلٍ بشريٍّ واحدٍ بمركباتٍ متعدّدةٍ كان "طموحاً جدّاً في أفضل الحالات، وأمراً مستبعداً في أسوأ الحالات."[90] ويَفْتَرِض العمل الحالي على واجهة الدماغ والسرب أن تكنولوجيات الدماغ والحاسوب قد تتمكّن من تحسين هذا التحدّي.[91]

المفاهيم القائمة بشأن تطبيقات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) في مجال القتال

قد توفّر حتّى في الوقت الحالي تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) إنْ كانت متوفّرة ومنشورة بجهوزيّة أكبر، منافع عملياتيّة محدّدة بفضل الوصول المباشر الذي تتيحه إلى الدماغ البشري. ويحدّد للعامّة بعض برامج الأبحاث التي أجرتها وزارة الدفاع الأمريكيّة (DoD) تطبيقات عملياتيّة عسكريّة محتملة لواجهة الدماغ والحاسوب والتي قد تكون ذات صلة في البيئة العملياتيّة القائمة. يعتمد القسْم التالي على هذه المواضيع، كما على الرؤى من الخبراء المتخصصين في المجال، لمناقشة التطبيقات المحتملة الإضافيّة لواجهة الدماغ والحاسوب خلال القتال.

يتمثّل مجالٌ يُحتَمَل أن تبرهن فيه تكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب عن منفعةٍ للعسكريين الحاليين بالتخاطر الاصطناعي *(synthetic telepathy)* بين المشغّلين البشريين.[92] ففي عام 2009، قدَّم برنامج "النقاش الصامت" ("Silent Talk") لوكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية مِنحاً لمؤسساتٍ بحثيّةٍ من أجل "إتاحة التواصل بين المستخدِمين في ساحة المعركة بدون استخدام الكلام المنطوق، من خلال تحليل الإشارات العصبية،" وهو تطبيق قد يسهّل إلى حدٍّ كبيرٍ التواصل الخفيّ.[93] ويسلّط تحليلٌ خارجيٌّ الضوء على الاستخدام المحتمل لتكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب من أجل تطوير إدراكٍ مُشتَرَكٍ بين الوحدات وعلى امتدادها، وتحسين التوعية الجماعيّة حول التحديات في عمليّات القتال، ومنْح المقاتلين رؤى حول مناظير مُشغّلين متعدّدين ومداولاتهم الداخلية."[94]

قد يساعد أيضاً الوصول المباشر إلى الدماغ البشريّ القادة على تحسين فهْم الحالات المعرفيّة والنفسيّة لقواهم. وفي وقتٍ مبكرٍ يَرجِع إلى عام 2008، أجرت القوى الجوية (Air Force) تحقيقاً في أنظمة القيادة والتحكّم في ساحة المعركة والتي استخدمَت المخطط الكهربائي للدماغ (EEG) وحركات العينين من أجل "تقييم حالة المشغِّل المعرفيّة الفعليّة" في محاولةٍ "لتجنُّب المآزق المعرفيّة قبل حدوثها" وفي نهاية المطاف "لتَوَقُّع حالة المهمة المستقبليّة وحالة المشغِّل الوظيفيّة بشكلٍ مُسبَق."[95] وفي بيان رؤيته، يبرّر تحالف التكنولوجيا التعاوني حول المعرفة وهندسة بيئة العمل العصبيّة (CaN CTA) التابع لمختبر أبحاث الجيش (ARL) الحاجة إلى تطوير القدرة على رصْد السلوك العصبي المعرفي للمشغِّل رصداً مستمراً، بما في ذلك عمْق الانتباه البشري، وتوزُّعه، وتحوُّله، وتقييم المعلومات، وسياق الأفعال العاطفي، وتأثير الحالة

الفيزيولوجيّة، أي التعب، والتوتّر، والتأجّج النفسيّ، على الأداء المعرفي والحرَكيّ.[96] قد يحدِّد هذا النوع من الوظيفة بشكلٍ معقولٍ العمليات وييسّرها لسائقي المواكب الذين يشعرون بإرهاق، أو ربّما لسائقي المدفعيات أو الناقلات الذين يعملون في بيئات معقَّدة والذين قد يتبيّن أنّ أخطاءهم مميتة.[97] وعلى مستوى أكثر تعقيداً، فإنّ تكنولوجيا قد توفِّر رؤى حول الحالة العاطفية لجنديٍّ ما قد تُحذِّر من احتمال أن "ينهار" الجنديّ نفسياً ومتى قد يحدث ذلك، عندما قد يكون لجنديٍّ ما ميولٌ ذُهانيّة، أو عندما يصوّب جنديٌّ ما طلقته خطأً بشكلٍ متعمّد. وتشير دراسةٌ حول استخدام التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفيّ من أجل تحديد الأباطيل إلى أنّ القدرة على الكشْف عمّا إذا كان شخصٌ ما يُخفي معلومات قد تكون مهمّةً بشكلٍ خاصٍّ لمهام مكافحة الإرهاب ومكافحة التمرّد.[98]

لقد استكشَفَت وزارة الدفاع الأمريكيّة أيضاً تطبيق تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب لتحسين الأداء المعرفي خلال القتال أو لدى الاستعداد له.[99] وقد تشمل التطبيقات العسكرية المحتملة التي يوفّرها تعزيز القدرات المعرفيّة للعسكريين، من خلال التحفيز الكهربائي أو الكيميائي، تحسين الذاكرة للمهام في المعارك أو تخزين كميات كبيرة من المعلومات من قِبَل طيّار طائرة مقاتِلة.[100] وتمّ استخدام الكافيين بمثابة مادّة محفِّزة معرفية من قِبَل الجيش الأمريكي على مدار أكثر من قرن.[101] أمّا مؤخراً، فقد سلّط باحثون من مختبر أبحاث القوى الجويّة (Air Force Research Laboratory) الضوء على التحديات المعرفية المرتبطة بالبيئات المتعدّدة المهام العالية المستوى بمثابة دافعٍ للبحث التطبيقي حول التحفيز بالتيار المباشر عبر الجمجمة (transcranial direct current stimulation [tDCS]) في السياق العسكري.[102] واستَثمَرَت وزارة الدفاع الأمريكية أيضاً في الجهود الرامية إلى تسريع التدريب العسكريّ من خلال استخدام واجهة الدماغ والحاسوب.[103] بحسب ما يلاحظه وصْف برنامج تدريب المرونة العصبية المستهدَفة (Targeted Neuroplasticity Training) التابع لوكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية، غالباً ما يحتاج العسكريون إلى مهارات متخصّصة تتطلّب دقّةً إدراكية، وحُكماً سريعاً ودقيقاً، وتخطيطاً فعّالاً وتنفيذاً لتحرّكات معقَّدة. قد يستغرق التدريب القائم على هذه الأمور وقتاً طويلاً وقد يتطلّب مهارة عالية المستوى.[104] بالتالي، ترى وزارة الدفاع الأمريكيّة فائدةً في السعي وراء التكنولوجيات التي قد تقلّص الوقت، والاستثمار، والكفاءة الفطرية المطلوبة لاكتساب هذه المهارات المتخصصة.

بما يتجاوز التعزيز المعرفي، يمكن أيضاً استخدام واجهة الدماغ والحاسوب للحدّ من الألم أو لضَبْط أي مشاعر أخرى، مثل الخوف. وبحسب ما لاحظه أحد المحللين ذوي خبرةٍ طبيّةٍ عسكرية، قد توفّر قدرات واجهة الدماغ والحاسوب التي يمكنها التحكُّم جسدياً بالجهاز العصبي المركزي وتعطيل الألم "تطبيقات عمليّة على غرار مخدّرٍ إلكتروني". يسعى برنامج الوصفات الكهربائيّة (Electrical Prescriptions [ElectRx] program) التابع لوكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية إلى دعم الجهوزيّة العملياتية العسكريّة من خلال تطوير علاجات غير دوائيّة للألم، والالتهاب العام، واضطراب ما بعْد الصدمة (الرّضح)، والقلق الشديد، وتحديات أخرى من خلال تحفيز الجهاز العصبي المحيطي.[105] لطالما حاول الضباط الآمرون جاهدين لتحديد الطريقة الفضلى لإدارة الخوف في ساحة المعركة في الوقت الذي يتخذ فيه المحاربون قرارات فردية أو جماعيّة للقتال أو لعدم القتال لدى مواجهة الخوف من الموت.[106] ويمكن أن يكون تطبيق واجهة الدماغ والحاسوب مفيداً بشكلٍ معقول، على الرغم من أنّه ثمّة أيضاً منتجات إيجابية بحسب ما يُزعَم مرتبطة بالمشاعر القويّة في القتال، بما فيها زيادة مستوى الأدرنالين الذي يحسّن القدرة الجسديّة.[107]

بما يتجاوز التعزيز المعرفي، يمكن أيضاً استخدام واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) للحدّ من الألم أو لضَبْط أي مشاعر أخرى، مثل الخوف.

في المستقبل، قد تُحسِّن واجهة الدماغ والحاسوب التي تحسِّن أجهزة الاستشعار البشرية، أي العينين اللتين قد يكون باستطاعتهما الرؤية في أطياف مختلفة أو الأذنين اللتين قد تستطيعان سماع أصوات خارج النطاق البشري العادي، التوعية بالأوضاع السائدة في سياق عمليات المشاة. وبحسب ما لاحَظه المدير السابق لبرنامج وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية وضابط المشاة السابق في الجيش جيوفري لينج (Geoffrey Ling)، "إذا أعطيتك عينٌ ثالثة وباستطاعة العين أن ترى في الأشعة ما فوق البنفسجيّة، قد يتمّ دمْج ذلك في الأمور التي تقوم بها جميعها. ... إذا كنتَ تستطيع الرؤية ليلاً، فأنتَ في وضْعٍ أفضل من الشخص الذي لا يستطيع الرؤية ليلاً."[108]

اختبار قدرات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) من خلال لعبةٍ حول الأمن القومي

هل باستطاعة واجهات الدماغ والحاسوب (BCIs) دعْم الأمن

القومي والحرب المستقبليّة؟ وإنْ كان الأمر كذلك، فكيف؟ لدى تطبيقه على مستقبل الحرب المُتَوَقَّع، يشير ملخّص التكنولوجيا لواجهة الدماغ والحاسوب إلى أنّه قد يكون هناك في الواقع منافع عملياتيّة. لاختبار هذا الأمر بشكلٍ إضافيّ، أجرى فريق مؤسسة RAND عملية محاكاة (TTX)، وهي لعبة حول الأمن القومي، تَمَركَزَت حول مجموعة أدواتٍ لقدرات واجهة الدماغ والحاسوب المستقبلية المُتَوَقَّعَة. لقد جَمَعَت اللعبة خبراء ذوي خبرةٍ تقنيّةٍ وعملياتيّةٍ وتحدّتهم لاتّخاذ خياراتٍ حول تكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب التي قد يستخدمونها على امتداد سيناريوهات تكتيكيّة وسبب اتّخاذهم هذه الخيارات. وقد عزَّزَت اللعبة بعض الفرضيّات الأوّلية حول جاذبيّة أدواتٍ محدّدةٍ لواجهة الدماغ والحاسوب وأوضَحَت حالات الاستخدام المحتمل في بيئةٍ عمليّاتيةٍ حيث كانت قيمة واجهة الدماغ والحاسوب موضوع نزاع. والأمر المهمّ هو أنّ اللعبة قد وفَّرَت أيضاً رؤى حول نقاط الضعف والمخاطر المُحتملة والتي يتمّ تفصيلها في القسْم التالي.

مجموعة أدوات مُتَوَقَّعَة لواجهة الدماغ والحاسوب (BCI)

لقد توقّعنا بالاعتماد على ملخّص التكنولوجيا ودراسة المتطلبات العملياتية المستقبلية مجموعة أدوات لستّ مجموعات مستقبليّة من قدرات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI). ترتبط القدرات الثلاث الأولى بالإجمال بالاتصال بين البشر، وبين البشر والآلات. وترتبط الثلاث الأخرى بالأداء والتدريب البشريَيْن. لقد شَكّلَت هذه القدرات جوهر لعبة محاكاة واجهة الدماغ والحاسوب (BCI TTX) في شهر يوليو/تموز 2018، وقد شَكّلَت في الواقع فرضياتنا حول تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب التي ستكون الأكثر صلةً بالوحدات العسكرية التكتيكية. ويرد تعدادها على الشكل الآتي:

تنطوي عمليةُ صنْعِ القرارات بين الإنسان والآلة *(Human–machine decisionmaking)* على نقْل البيانات إلى الدماغ البشريّ من مُدخلات جهاز استشعار ومن الدماغ إلى الآلات. قد تُساعد المُستَخْدِمين على تجميع المعلومات والتقييمات ونقْلها. فعلى سبيل المثال، قد يفرز حاسوبٌ ما المعلومات ويعرضها في شكلٍ يمكن استيعابه بسهولةٍ للحصول على استجابةٍ سريعةٍ ودقيقة. في المقابل، يمكن بالاعتماد على الذكاء الاصطناعي (AI) المقرون بقشرة الدماغ توفير البيانات من الدماغ البشريّ إلى حاسوبٍ ما. يتيح هذا النوع من الأداة لمحاربٍ ما استيعاب مزيدٍ من المعلومات بشكلٍ أسرع، ليتم استخدامها مثلاً في سياق تقييم ساحة المعركة أو تقييم المخاطر والتهديدات. ويمكن أن يزيد المحاربون في نهاية المطاف مدّة الاستجابة الإجماليّة، ما يؤدّي بالتالي إلى تعطيل حلقة "راقِب، وجِّه، قرِّر، تصرَّف" (OODA).

وينطوي تحكُّم الإنسان والآلة المباشر بالأنظمة *(Human–machine direct system control)* على السماح للمحاربين بالتحكُّم بالأنظمة لاسلكياً بواسطة أفكارهم، كما أيضاً بالإشراف على الأنظمة شبه المستقلّة وأنظمة الذكاء الاصطناعي (AI)، بما فيها الروبوتات، أو الطائرات بدون طيّار، أو أسراب الطائرات بدون طيّار، أو الطائرات. فهو قد يُمكّن مثلاً وقْف تشغيل نظامٍ فورياً أو إطلاق أسلحة بمجرّد ورود فكرةٍ ما. ويوفِّر ذلك بدوره للمحارب مستوى أعلى من التوعية بالأوضاع السائدة ويساعد من جديد على تعطيل حلقة "راقِب، وجِّه، قرِّر، تصرَّف" (OODA).

ويستتبع التواصل والإدارة بين البشر *(Human–to–human communication and management)* نقْل الأوامر أو الأفكار الأساسيّة لاسلكياً فيما بين المحاربين والقادة، ما يخفِّف من حمْل أنظمة الاتصالات. قد ييسّر التواصل الفوري والصامت بشأن الخطط أو التكتيكات في ساحة المعركة، أو يُحسِّن التواصل مع المقرّات الرئيسية لتعزيز توعية القادة بالظروف في ساحة المعركة.

قد يتيح رصدُ الأداء *(Monitoring performance)* التوعية بالحالات العاطفية والمعرفيّة والجسديّة لمجموعةٍ أو لفرْد. وقد يسمح برصْد الحالة العصبيّة والمعرفيّة، كاشِفاً بالتالي عن الحالات التي يكون فيها شخصٌ ما مُتعباً، أو مُتَنَبِّهاً، أو عندما يكون حمْل العمل المعرفي لديه مرتفعاً أو منخفضاً، أو عندما يعاني من توتّرٍ شديد. وقد يساعد أيضاً قائداً ما على فهْم الحالة المعرفيّة ومستوى التعب الإجمالي لفرقةٍ أو لفصيلة.

ويشمل تعزيز الأداء المعرفي والجسديّ *(Enhancement of cognitive and physical performance)* تحسين الحالتين المعرفية والجسديّة لمحاربٍ ما في ساحة المعركة. من الناحية المعرفية، قد يؤدّي إلى تعزيز التركيز واليقظة لتسريع التوعية بالأوضاع السائدة وعملية صنْع القرارات وتحسينهما. وقد يتم أيضاً تحسين الحالة العاطفية للمحارب، ما قد يعطّل مثلاً الخوف ويُخفِّف من التوتّر. قد يعزِّز أيضاً التدريب على المهارات المعرفيّة، بحسب برنامج تدريب المرونة العصبية المستهدَفة (Targeted Neuroplasticity Training [TNT]) التابع لوكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (DARPA).[109]

أما بالنسبة إلى الأداء الجسديّ، فقد يشمل تنظيم الحالة النفسيّة لمحاربٍ ما أو تعزيزها.[110] وقد يعزِّز القدرات الحسيّة من خلال تحفيز الأجهزة العصبية المحيطيّة وبشكلٍ محتمل، قشراتٍ محدّدةٍ (أي البصرية أو السمعية). قد يُمكّن أيضاً التخفيف من الألم من خلال توزيع الأدوية. أخيراً، قد تشمل أيضاً هذه الأداة تحسين القوّة من خلال دمج أكثر فعاليّةً للهياكل الخارجية الميكانيكيّة،[111] وهي امتدادات طبيعية للعمل على الأعضاء الاصطناعية.

قد تُحسّن أداة واجهة الدماغ والحاسوب التدريبيّة تعلُّم المشغِّل ومعالجَة الذاكرة، مُتيحةً للمحاربين الاحتفاظ بمزيدٍ من المعلومات. وقد تُمَكّن أيضاً تسريع التدريب، بما في ذلك أجهزة التدريب القابلة للنشْر لتدريبٍ سريعٍ في ساحة المعركة. وقد تسمح بإجراء تدريبٍ

الشكل رقم 1
قدرات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) وتوفُّرها

2030 ← 2040 ← 2050

أداة واجهة الدماغ والحاسوب (BCI)	القدرات على المدى القريب	القدرات على المدى الطويل
1) عملية صنع القرارات بين الإنسان والآلة	• النقل الفوري للخطر العملياتي • قرارات أسرع لنشْر الأسلحة • دورة إعداد أقصر مع تغذيةٍ راجعةٍ أسرع من الحوادث في ساحة المعركة (تعطيل حلقة "راقِب، وجِّه، قرِّر، تصرَّف" [OODA]) • سرعة ودقّة متزايدتان للاستهداف	• نقْل الخطر والتهديدات (زيادة عرْض نطاق التردد) • زيادة أنظمة الذكاء الاصطناعي (AI)
2) تحكُّم الإنسان والآلة المباشر بالأنظمة	• نقْل الأوامر الأساسيّة إلى الأنظمة • زيادة التوعية بالأوضاع السائدة والاستجابة • تعطيل حلقة "راقِب، وجِّه، قرِّر، تصرَّف" (OODA)	• نقْل تشغيلاتٍ معقّدٍ (زيادة عرْض نطاق التردد ودرجات الحريّة) • مقاومة تشتُّت الانتباه (الاستخدام في البيئات الديناميكية) • أوامر وتحكُّم أكثر تحديداً
3) التواصل/الإدارة بين البشر	• نقْل أوامر أساسيّة بين الأفراد • الحدّ من الوزن (اللاسلكي)	• نقْل استراتيجيات معقَّدة تنطوي على قادة/مقرات رئيسيّة (زيادة عرْض نطاق التردد)
4) رصْد الأداء	• رصْد الحالة • رصْد حمْل العمل المعرفي، والتوتّر، ونقطة الانهيار لدى الفرد والمجموعة	• تقييمات عن بُعد وطويلة المسافة • رصْد الحالات العاطفيّة والمعرفيّة السلبيّة • أرشفة الملفّات المعرفية الديناميكيّة
5) تعزيز الأداء المعرفيّ	• تنظيم الحالة العاطفية (أي التوتّر) • زيادة التركيز واليقظة	• تعديل الحالة العاطفيّة
6) تعزيز الأداء الجسديّ	• تحسين زيادة القوّة • تحسين القدرات الحسيّة	• زرْع جهاز لتوزيع الأدوية التلقائي • تعطيل الألم
7) التدريب	• زيادة الاحتفاظ بالتعلُّم • أجهزة تدريب قابلة للنشْر • تدريب تكيُّفيّ إفراديّ • تقييم أكثر فوريةً وأكثر فعالية	• زرْع مجموعات معرفيّة

تكيفيّ (وأكثر فعاليّة) مصمَّمٍ خصيصاً ومحدّدٍ للمهام. قد توفِّر واجهة الدماغ والحاسوب تغذيةً راجعةً أكثر فعاليةً خلال التدريب، وقد تُمَكِّن يوماً ما زرْع مجموعات معرفيّة "لتدريب" فوريّ.

يعدّد الشكل رقم 1 قدرات مجموعة أدواتٍ لواجهة الدماغ والحاسوب والتي قد تكون متوفّرة ضمن إطارٍ زمنيٍّ قريبٍ نسبياً، بالإضافة إلى توقّعاتٍ على مدى أطول. ويتم جمْع هذه القدرات بحسب الأدوات التي تمّت مناقشتها أعلاه. بالإجمال، تعكس القدرات على المدى الطويل تحسيناً على مستوى تعقيد البيانات التي يتم نقْلها وعرْض نطاق ترددها. فيما يتعلّق بالتحكُّم المباشر بالأنظمة، وبنَقْل تشغيلاتٍ أكثر تعقيداً لنظامٍ ما، قد تحدّ القدرات على المدى الطويل أيضاً من حساسيّة أنظمة واجهة الدماغ والحاسوب في وجْه حالات تشتّت انتباه المستخدِمين. وستتيح القدرات على المدى الطويل المرتبطة برصْد الأداء للمنظّمات أرشفة الأداء المعرفي والملفّات الشخصيّة مع الوقت.

اختبار الصلة العملياتيّة لقدرات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI)

من أجل توفير اختبارٍ أوّليٍّ لفائدة سبعة مجالات من مجموعة أدوات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) بالنسبة إلى العمليات العسكريّة التكتيكيّة، أجرينا لعبةً ليومٍ واحدٍ جمعنا فيها خبراء لاتّخاذ قرارات بشأن أي واحدة من تكنولوجيات مجموعة أدوات واجهة الدماغ والحاسوب، إنْ وُجِدَت، قد يستخدمونها في مهمّتين قتاليتين بريّتين حضريتين. لقد سمحت لنا هذه المقامات أن نفهم بشكلٍ

لقد شَكّلَت عمليات المشاة الحضريّة حالة الاستخدام "الأكثر تحدياً"، حيث كان المستَخدِمون المستهدَفون يشككون من الناحية التقليدية بمنفعة التقدّمات التكنولوجية.

أفضل (1) ما إذا اعْتَبَرَ اللاعبون أي تكنولوجيا لواجهة الدماغ والحاسوب مفيدةً في سياقٍ معقّد، (2) المنفعة النسبية المُتَصَوَّرَة للتكنولوجيات المختلفة بالنسبة إلى المهام المختلفة؛ و(3) الأسباب المنطقيّة التي من أجلها اختار اللاعبون أو لم يختاروا استخدام التكنولوجيات المختلفة، للمساعدَة في الكشف عن منافع الأدوات ومحدودياتها.

لقد جَمَعَت عملية المحاكاة التي أجريناها حول واجهة الدماغ والحاسوب مجموعةً صغيرةً من اللاعبين من خلفيّاتٍ عسكريّةٍ وتقنيّةٍ متنوّعةٍ لقيادة المحادثة ولاستنباط مجموعة واسعة من الرؤى. كانت النيّة الأوّلية استكشاف صلة قدرات واجهة الدماغ والحاسوب في وضعيّةٍ عسكريّةٍ ومناقشة الفروقات الدقيقة في كيفية إمكانية استخدام هذه القدرات. من الناحية التقنيّة، شَمَلَ اللاعبون باحثين ومديرين من ذوي الخبرة في العلوم العصبية، والتكنولوجيا العسكرية، والتعاون بين الإنسان والآلة. واعتَمَدَت مجموعةٌ ثانيةٌ من اللاعبين على ضبّاطٍ عسكريين حاليين وسابقين وخبراء في الشؤون العسكرية، والذين يتمتّع عددٌ منهم بالخبرة في العمليات الحضرية. وقد طُلِب من المجموعة تمثيل القوّات الأمريكية ككلّ في السيناريوهين. واضطلع محلّلان من مؤسسة RAND يدرسان التكنولوجيا المدمِّرَة بدور الخصم خلال المرحلة الأخيرة من اللعبة.

لقد طُلِبَ من اللاعبين تطبيق فائدة كلّ واحدة من قدرات واجهة الدماغ والحاسوب الستّ من مجموعة أدوات واجهة الدماغ والحاسوب وتقييمها في سياق عمليّتين حضريّتيْن تكتيكيّتيْن وعلى امتداد وظائف المقاتلين الستّ، وهي: أمر المهمّة، والاستخبارات، وعمليات إطلاق النار، والحركة والمناورة، وحماية القوّات، والدعم. وسَمَحَت لنا هذه العملية مقارنة تقييم اللاعبين لمنفعة التكنولوجيات المختلفة بالنسبة إلى الوظائف المختلفة على امتداد مهمّتيْن مختلفتيْن.

لقد شَكّلَت عمليات المشاة الحضريّة حالة الاستخدام "الأكثر تحدياً"، حيث كان المستَخدِمون المستهدَفون يشككون من الناحية التقليدية بمنفعة التقدّمات التكنولوجية. وبحسب ما أشار إليه مرةً صراحةً مساعد سابق لوزير الدفاع لشؤون الأمن الدولي ومحارب في البحرية (Assistant Secretary of Defense for International Security Affairs and Combat Marine)، بينج ويست (Bing West)، "ستبقى المعركة الحضريّة مُشادّة، حيث يبقى المكوِّن الأساسي هو الجرعات الكبيرة من المواد الشديدة الإنفجار. ولا تظهر أي تكنولوجيا لاستبدال ذلك."[112] لقد حدّدنا سيناريوهين لمهمّتين من عقيدة العمليات الحضرية للسماح للّاعبين بالبحث في مهمتيْن مشتركتيْن هما: تطهير مبنى والاستجابة لكمين. وقد شَمَل السيناريوهان كلاهما مهاماً فرعيةً معقّدةً قد تعالِج مجموعة مهام المحارِبين.

ترد تفاصيل إضافية حول تصميم اللعبة وتنفيذها في الملحق.

رؤى حول استخدام واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) مُستَخلَصَة من لَعِب اللعبة

لقد وَفّرَت اللعبة أنواعاً متعددةً من الرؤى لمساعدَتنا على فهْم فائدة واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) في العمليات الحضريّة. فجَمَعْنا أوّلاً بيانات حول قدرات واجهة الدماغ والحاسوب التي اختارَ اللاعبون الاعتماد عليها لمعالَجة المجالات الوظيفيّة التي يحدّدونها. واستخدَمنا هذه المعلومات لفهْم القدرات التي اعتُبِرَت أكثر فائدةً لدعْم العمليات البريّة المعقّدة. وجمعنا ثانياً بيانات حول مناقشة اللاعبين لسبب اعتبارهم تكنولوجيات محدّدة واعدةً أو خطيرة. إنّنا نناقش في هذا القسْم التكنولوجيات التي اختارَ اللاعبون استخدامها، والأمور التي اعتبروها من المزايا. تتماشى هذه النتائج المُستخلَصَة بالإجمال مع فرضيتنا الأوّلية بأنّ لواجهة الدماغ والحاسوب استخدامات حتّى في بيئات معقّدة وإنّما بيّنَت أنّ اللاعبين لم يعتبروا القدرات الستّ مفيدةً بشكلٍ متساوٍ. وبما يتجاوز الفائدة المحتملة الواعِدَة لواجهة الدماغ والحاسوب والتي دَعَمَها لَعِب اللعبة، لاحظنا أيضاً محدودياتٍ ومخاطر مهمّةً متعدّدةً ظَهَرَت باستخدام واجهة الدماغ والحاسوب. وتتم معالَجة هذه النتائج المُستخلَصَة في القسْم التالي.

تفيد رؤيتنا الأوّلية المُستخلَصَة من اللّعبة بأنّ قدرات واجهة الدماغ والحاسوب قد تكون مفيدةً بالفعل في ساحة المعركة الحضريّة، ما يدعم فرضيّة الفريق الأوّلية. وقد تمّ استخدام أدوات واجهة الدماغ والحاسوب جميعها مرّات متعدّدة من قِبَل اللاعب، وتمّ تطبيق أغلبية الأدوات على وظائف القتال جميعها أقلّه مرة واحدة. وعندما أُعْطِي اللاعبون الخيار بين استخدام تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب أو عدم استخدامها، قرروا غالباً استخدام

تكنولوجيا من تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب لمواجَهَة تحدّيات السيناريوهات التكتيكيّة.[113] وبشكلٍ أكثر تحديداً، قدّمَت اللعبة دليلاً حول التكرار النسبيّ الذي تمّ فيه اختيار أدوات واجهة الدماغ والحاسوب لدعْم وظائف قتالٍ مختلفة، ما يشير إلى الفائدة النسبية المُتَصَوَّرَة لسِلال التكنولوجيا المختلفة. بالإجمال، كانت عملية صنْع القرارات بين الإنسان والآلة، والتحكّم المباشر بالأنظمة، وتعزيز الأداء الجسديّ أكثر شعبيّةً بشكلٍ ملحوظٍ من الأدوات الأخرى. وليس من المفاجئ ربّما أنّه تمّ في معظم الأحيان استخدام هذه الأدوات لدعم مهام أمر المهمّة، والاستخبارات، وعمليات إطلاق النار، وحماية القوات. ونادراً ما تمّ استخدام تعزيز الأداء المعرفي والتدريب، وإنّما قد يُعزى ذلك إلى الطبيعة التكتيكية لمجموعات المشاكل، الأمر الذي قد جَعَل ربّما القضايا الطويلة المدى مثل التدريب أقلّ إلحاحاً. لقد كانت هذه النتائج جميعها متّسقةً مع توقّعاتنا الأوّلية، ولكنّ الدعم المستقلّ من لاعبي اللعبة يوفّر دليلاً إضافياً حول فائدة واجهة الدماغ والحاسوب بالنسبة إلى مهامٍ عمليّاتيّةٍ محددة.

وقد شدّدت اللعبة أيضاً على الحاجة إلى إجراء تحليلٍ إضافيٍّ للقدرات التقنيّة المستقبليّة للتطبيقات العسكرية المرتبطة بواجهة الدماغ والحاسوب. وأشار المشارِكون إلى أنّ الفائدة البرغماتيّة لكلّ واحدة من أدوات واجهة الدماغ والحاسوب قد تعتمد إلى حدٍّ كبيرٍ على دقّتها وموثوقيّتها أثناء القتال. فقد تكون أداةٌ للتواصل بين البشر تتيح تبادلاً تامّاً للتوعية بالأوضاع السائدة أكثر منفعةً بالمقارنة مع التواصل الأكثر بدائيّة، والذي قد يكون من الممكن نقْله بسهولةٍ عبْر جهاز راديو تقليديّ قصير الموجة. ويُعتَبَر جهازٌ لواجهة الدماغ والحاسوب يشرف على عمليّة أسراب طائرات بدون طيّار مفيداً بقدر ما يمكن الاعتماد عليه في الاحتفاظ بالتحكُّم في ظلّ ظروفٍ غير مواتية. بالإضافة إلى ذلك، أثار دمْج أنظمة الخصم القاتِلة الآليّة في اللعبة أسئلةً تقنيّةً حول القدرة المستقبلية لواجهة الدماغ والحاسوب على تخطّي القيود الزمنيّة المرتبطة بعملية صنْع القرارات البشريّة. فقد علّق لاعبٌ أنّ بعض القدرات المعروضة في مجموعة أدوات واجهة الدماغ والحاسوب لم يبدُ ملموساً بما يكفي لاتّخاذ قرارٍ عملياتيّ، الأمر الذي قد يكون ساهَم في قرارات بعض اللاعبين. يستكشف القسْم التالي بشكلٍ إضافيٍّ بعض نقاط الضعف والمخاطر الرئيسيّة التي تمّ تحديدها خلال لَعِب اللعبة، والتي يجب مواصَلَة التفكير بها قبْل التمكّن من نشْر واجهة الدماغ والحاسوب بشكلٍ مُنْتِجٍ في البيئات القتاليّة.

السيناريو رقم 1: تطهير مبنى

لقد استوحِيَ السيناريو الأول، وهو تطهير مبنى، مباشرةً من منشور قتال مشاة البحريّة (Marine Corps Warfighting Publication) بعنوان العمليات العسكرية في المناطق الحضرية *(Military Operations in Urban Terrain [MOUT])*.[114]

ردّاً على السيناريو، ذَكَر اللاعبون تحديد موقع المدنيين وقتْل العدو على أنّهما مهمّتيْن فرعيتيْن أساسيتيْن. وكان التواصل، ومراقبة القوّات عبْر غرفٍ متعدّدة، وضمان التوعية بالأوضاع السائدة مهاماً فرعيّةً مُشتقّةً. بالإجمال، حدَّد اللاعبون أنّ المشكلة الرئيسية هي مشكلة جمْع المعلومات وإدارتها من قِبَل البشر وبالتالي اهتمّوا أكثر بحلول واجهة الدماغ والحاسوب التي دَعَمَت التواصل وعملية صنْع القرارات.

واستناداً إلى المهام الفرعيّة المُحَدَّدَة، شدّد المشاركون على الحاجة إلى التواصل بوضوحٍ واتّخاذ قراراتٍ سريعةٍ ودقيقةٍ في ظلّ ظروفٍ تقترن بمحدوديّة خطّ الرؤية، والوضوح، والسمع. نتيجةً لذلك، ركّز اللاعبون مناقشتهم على أدوات واجهة الدماغ والحاسوب التي قد تساعد في القيادة والتحكُّم، والتواصل، والاستخبارات. وبحسب ما أشار إليه لاعبٌ، تعرض واجهة الدماغ والحاسوب بشكلٍ محتملٍ "مجموع المعلومات، حيث يتمّ جمْع الأصوات والصور معاً" مع توفير أدوات للمساعَدَة على فهْم ظروفٍ مربكةٍ بخلاف ذلك.

وقد تَكَرَّرَ ذِكْرُ سرعة عملية صنْع القرارات وتعزيز التوعية المُشترَكة على أنهّما صفتان رئيسيّتان لأدوات واجهة الدماغ والحاسوب واللتان قد تكونان مهمّتين في تحسين التواصل الجاري، والقيادة والتحكُّم، والاستخبارات. وبحسب ما لاحظه لاعبٌ، فإنّ قائد وحدة يُطهِّر مبنى ما قد "يحتاج إلى معرفة مَن يشعر بالخوف فعلاً، أو مَن هو ميّت، وقد يحتاج إلى معرفة ذلك بدون صرْف الوقت في الحديث."

حتّى بالنسبة إلى وظائف مثل التحرُّك والمناورة، ركَّزَت مناقشة اللاعبين على الحاجة إلى التواصل بشأن موقع العسكريين الآخرين ووضْع مناطق المبنى الأخرى فوراً، على الرغم من أنّ بعض النقاش قد دار حول القيمة المضافة لواجهة الدماغ والحاسوب بالنسبة إلى هذه المهمّة بما يتجاوز استخدام جهاز راديو تقليدي.

واختار اللاعبون أيضاً أدوات وفَّرَت لقائدٍ معلومات أكثر دقّةً حول الأدوات التي يجب بناء القرارات عليها. وإلى الحدّ الذي قد تعزّز فيه واجهة الدماغ والحاسوب قدرة قائدٍ ما على اختيار المعلومات بسرعةٍ من الجنود في الصفوف الأماميّة، وفرْز تلك المعلومات، واتّخاذ القرارات حول الاستهداف والإدارة البشريّة، فهي قد تكون مفيدةً بشكلٍ محتملٍ في إنجاز المهمّة.

وقد ذُكِر التحكُّم بالروبوتات والتعزيزات الجسديّة أيضاً وإنّما تمّت مناقشتها بشكلٍ أقلّ، وبدا أنّها أقلّ مركزيّةً في تصوُّر اللاعبين لتحديّات السيناريو. فعلى سبيل المثال، شدّد عددٌ من المشغِّلين على أنه قد لا يزال من الممكن أن يكون مُطلِق النار الأزرق إنساناً يحمل بندقيّة، لأنّ الحاجة قد تدعو إلى درجةٍ إضافيّةٍ من الحُكْم والمحاسبة. وقد يكون أيضاً عدم التشديد على التحكُّم بهذه التكنولوجيات الناشئة مثل أسراب الطائرات بدون طيّار والروبوتات في ساحة المعركة عائداً جزئياً إلى واقع أنّه طُلِب من اللاعبين

النظر في المستويات الحالية فحسب من التكنولوجيا غير تكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب.

السيناريو رقم 2: الكمين وإجلاء الضحايا

لقد كيّف السيناريو الثاني وصْف كمينٍ من العمليات العسكرية في المناطق الحضريّة (MOUT) ليشمل إجلاء الضحايا الذي تمّ وصْفه في روايةٍ أوّليةٍ لمعركة الفلّوجة (battle of Fallujah).[115] ودَمَج هذا السيناريو أيضاً صراحةً التكنولوجيات المستقبلية غير تكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) المُتَوَقَّع أن تكون متوفّرة للولايات المتّحدة وللخصوم شبه المكافئين في إطار زمنيّ يمتدّ حتى عام 2040، بما في ذلك الذكاء الاصطناعي (AI) القاتل المستقل؛ وأساطيل المركبات الجوية والمائية بدون طيّار؛ والحرب الإلكترونيّة (electronic warfare [EW]) المتقدّمة؛ والاستخبارات، والمراقبة والاستطلاع المتكاملة؛ والتوعية بالأوضاع السائدة؛ ودعْم عمليات إطلاق النار.[116]

في هذا السيناريو، تحوَّل التركيز من التواصل إلى التحكُّم بمنصّاتٍ متعدّدةٍ والدعم الطبيّ. وقد سلّط الاعتبار الإضافيّ للتكنولوجيات العسكرية المستقبليّة المعقولة الضوء على مجالات جديدة للتفاعل المحتمل بين الإنسان والآلة. ففي حين حدّد اللاعبون تكنولوجيا مماثلة لواجهة الدماغ والحاسوب على أنّها تساعد في القيادة والتحكُّم والاستخبارات، كما هي الحال في السيناريو الأوّل، كانت وظائف القتال هذه أقلّ بروزاً في المناقشة. بدلاً من ذلك، ركّز اللاعبون بشكلٍ إضافيّ على المنصات المتعدّدة التي دعت الحاجة إلى تنسيقها لتوفير التوعية بالأوضاع السائدة، والدعم في عمليّات إطلاق النار، وقدرات الإجلاء الطبي. ولاحظ اللاعبون أيضاً أن خطوط الرؤية الأكثر انفتاحاً في السيناريو قد جَعَلَت الدعم الجوّي والروبوتات البريّة أكثر فائدةً، ما يجعل التحّكم المباشر خياراً أكثر جاذبيّة.

وقد جَعَل وجود ضحيّة على قيْد الحياة تطبيقات واجهة الدماغ والحاسوب المصمّمة لتوفير الرعاية الصحيّة ورصْدها محطّ تركيزٍ مركزي. فاستناداً إلى ملاحظةٍ أوّلية مفادها أنّ "الوقت عامِل أساسي" لدى معالَجَة الضحايا المصابين بإصاباتٍ خطيرة، نَظَر المشاركون في الطرق التي قد تُحسِّن بها واجهة الدماغ والحاسوب وقت الاستجابة.[117] فأشار لاعبٌ إلى أنّ نقْل الخبرة الطبية المتقدّمة من خلال واجهة الدماغ والحاسوب قد يحوّل أي مسعف في القتال إلى جرّاحٍ، ما يحدّ بشكلٍ محتمل من الفترة الزمنية المطلوبة للنقل للحصول على الرعاية الأساسية. وقد أولى اللاعبون اهتماماً خاصاً لاستخدام عملية صنْع القرارات بين البشر والآلة لدعْم التخصيص الصحيح للموارد مع، مثلاً، تحديد الوقت الذي يجب أن يمضيه عسكريٌّ في توفير الرعاية الطبيّة، أو تخصيص أنظمةٍ بدون طيّار للمهام المختلفة.

حالات استخدام إضافيّة

لقد لاحظ اللاعبون أيضاً مجالات إضافيّة متعدّدة حيث قد تكون واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) مفيدةً بما يتجاوز حدود السيناريوهيْن. فناقش اللاعبون مثلاً فائدة توفير واجهة الدماغ والحاسوب لأخصائي ميكانيكيّ، الذي قد يستطيع حينئذٍ الاعتماد إمّا على التشخيصات المرتكِزة إلى التعلُّم الآلي أو على خبرة أخصائي تقنيّ أعلى مستوى لدى إجراء الإصلاحات. وشعَر اللاعبون أنّ هذا قد يمكّن وظائف دعْم أكثر قدرةً والتي، وإنْ لم يتم وَصْفها مباشرةً في السيناريو، قد تكون أساسيّةً للحفاظ على القوات على مدار عمليات أطول. وذَكَر اللاعبون بالمثل أنّه لو كان هناك حلفاء أو شركاء يعملون إلى جانب قوّات السيناريو، كانت واجهة الدماغ والحاسوب لتُعتبَر مفيدةً في تجاوُز العائق اللغوي لضمان تواصلٍ سلس. وقد حدَّت أيضاً مدة السيناريوهيْن القصيرة من دور التعب المعرفيّ والجسديّ في قرارات اللاعبين. فقد لاحظ اللاعبون أنّه لم يتم تضمين التطبيقات الهجومية المُحْتَمَلَة لواجهة الدماغ والحاسوب في مجموعة الأدوات، ولكنّها كانت لتُعتبَر مفيدة. ولاحظ اللاعبون أيضاً أنّه من المُرَجَّح أن تكون الفرص المتاحة لواجهة الدماغ والحاسوب في إدارة القتال العملياتيّة واسعة النطاق وإنّما قد تختلف جداً عن التطبيقات التكتيكيّة التي ركّزَت عليها اللعبة.

من المهمّ التحذير من أنّه، وفي حين شعَر اللاعبون أنّ واجهة الدماغ والحاسوب قد تكون مفيدةً في البيئة الحضرية، سرعان ما لاحظوا أنّها قد لا تكون حلاً مطلقاً. فبالإضافة إلى إمكانية واجهة الدماغ والحاسوب، سلّط التمرين الضوء أيضاً على نقاط الضعف، والتحديات، والمخاطر الممكنة الناتجة عن استخدام واجهة الدماغ والحاسوب. ويتم تحديد هذه الأمور بالتفصيل في القسْم الآتي.

توليف النتائج المُستَخْلَصَة من اللعبة

في حين يجب عدم المبالَغة بالرؤى المُستنتَجَة من لعبةٍ واحدة، ساهَمَت عملية محاكاة واجهة الدماغ والحاسوب (BCI TTX) التي أجريناها في مناقشةٍ ناشئةٍ حول واجهة الدماغ والحاسوب من خلال تحديد الطرق الملموسة التي قد تساهم بها قدرات واجهة الدماغ والحاسوب المستقبليّة في العمليات القتاليّة والنظر فيها. لقد فضَّل المشارِكون أدوات واجهة الدماغ والحاسوب على المقاربات العسكريّة التقليديّة لتأدية المهام على امتداد طيْف وظائف المقاتلين. ومن أصْل قدرات واجهة الدماغ والحاسوب السبع المُحدَّدَة في الدراسة، حدَّدَ المشارِكون منافع الاستخدام الكبرى على امتداد السيناريوهيْن لثلاث قدرات. فأولاً، مَنَح المشارِكون الأولويّة لدعْم واجهة الدماغ والحاسوب لعملية صنْع القرارات بين البشر والآلة، مُتَوَقّعين المنافِع الناتِجة عن دمْج المعلومات من مصادر متعدّدة في سياق معركةٍ فوضويّةٍ أو تسريع عملية صنْع القرارات أثناء

القتال. وثانياً، قد يمنح التحكُّم المباشر بالأنظمة من خلال واجهة الدماغ والحاسوب المقاتلين إمكانية التحكُّم بأنظمة شبه مستقلّة وبأسرابٍ من الطائرات بدون طيّار بدون استخدام اليديْن. ثالثاً، قد يوفِّر الأداء الجسديّ المعزَّز قدراتٍ سمعيّةً وبصريّةً مُحسَّنة، أو تحكُّماً أكثر سلاسةً بالهياكل الخارجيّة. ولاحظ المشارِكون أنّ فائدة هذه الوظيفة قد تصبح أوضح بشكلٍ خاصّ ما أن يتمّ تطوير التكنولوجيا للتطبيقات العسكرية للذكاء الاصطناعي (AI) والروبوتات بشكلٍ إضافيّ، الأمر الذي يحسِّن دقّة أدوات واجهة الدماغ والحاسوب وموثوقيّتها، وما أن يصل الخصوم إلى هذه القدرات. وقد يحدّد مزيدٌ من التحليل لهذه القدرات الثلاث منافع استخدامها والمخاطر المرتبطة بها تحديداً أكبر.

ولاحظ مشارِكونا أنّ التواصل المباشر المستقبلي بين الأدمغة في صفوف العسكريين، وفي حين يتطلّب تكنولوجيا متقدّمة أكثر من تلك التي يمكن توفُّرها في إطار زمنيّ يمتدّ حتّى عام 2040، قد يكون ثورياً في السماح لفريقٍ ما بتنسيق التحرّكات لدى تطهير مبنى. وأشارت المناقشة أيضاً إلى أنّ التكنولوجيات قد تُشكّل مخاطر متزايدة من حيث استغلال الخصوم وقد يكون لها التأثير الأكبر على الهيكليّات التنظيميّة العسكريّة الحاليّة، بحسب ما إذا يمكن وقْف تشغيل القدرة واستخدامها انتقائياً. وسلّط عددٌ من التحديّات التي تمّ تحديدها في اللعبة الضوء على التضخيم المستقبلي المحتمل للمخاطر من حيث الأمن الإلكترونيّ بفعل استخدام واجهة الدماغ والحاسوب. وشدّد فريقنا الأحمر (أي فريق التحدّي) على نقاط الضعف المحتملة المرتبطة بالتخريب (القرصنة) الإلكتروني، وقَطْع الخدمة، والحرب الإلكترونيّة (EW).

المخاطر المحتملَة

غالباً ما يلاحظ محلّلو الابتكار العسكري الناشئ الحاجة إلى توخّي الحذر المحيط بمفارَقَة القدرات ونقاط الضعف، حيث قد تُدْخِل المنافع الجديدة نقاط ضعْف جديدة.[118] فقد يؤدّي إدخال أي تكنولوجيا جديدة إلى تحدّيات، ومخاطر، ونقاط ضعْف جديدة. بالتالي، وبالإضافة إلى النظر في المنفعة العملياتيّة لتكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) المستقبليّة في سياق القتال، سعى هذا المشروع إلى النظر في كيف يمكن أن تشكِّل السمات الفريدة لواجهة الدماغ والحاسوب اعتبارات جديدة بالنسبة إلى وزارة الدفاع الأمريكية (DoD) وإلى تحديد المجالات الرئيسيّة ليتمّ النظر فيها بشكلٍ إضافيّ. لقد تمّ استخلاص بعض هذه الاعتبارات من الدراسات السابقة القائمة؛ وقد اعتمَدَت أغلبيتها على المناقشات التي أُجريَت في سياق الإعداد لعملية محاكاة واجهة الدماغ والحاسوب (BCI TTX) وخلالها، وهي تشمل الرؤى من فريقٍ أحمر (أي فريق تحدٍّ) مخصَّص لتحديد نقاط الضعف المرتبطة بواجهة الدماغ والحاسوب. وفي حين أكّدَت اللعبة على المنفعة

غالباً ما يلاحظ محلّلو الابتكار العسكري الناشئ الحاجة إلى توخّي الحذر المحيط بمفارَقَة القدرات ونقاط الضعف، حيث قد تُدْخِل المنافع الجديدة نقاط ضعْف جديدة.

المحتملة لتكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب في ساحة المعركة، سلَّطَت الضوء أيضاً على المخاطر المحتملة. وفيما يتعلّق بالسياسات، تشير القيمة المُقتَرَحَة بالتأكيد إلى استمرار الاستثمار والتطوير، إلّا أنّ المخاطر تسلّط الضوء على المجالات الرئيسيّة حيث يتوجّب على صانعي السياسات اتّخاذ إجراءات استباقيّة. يبحث هذا القسْم في نقاط الضعف العملياتيّة، ونقاط الضعف المؤسساتية، والمخاطر الأخلاقية والقانونية المحتمَلَة، والمرتبطة جميعها بالتطبيقات القتاليّة لتكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب.

نقاط الضعف العملياتيّة

لقد ساعد تحليلٌ أجراه الفريق الأحمر (أي فريق التحدي) لقرارات اللاعبين المُشارِكين في اللعبة في تحديد الطرق التي قد تؤدّي بها تكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) إلى نقاط ضعْف جديدةٍ بالنسبة إلى المحارب المستقبليّ. ولتحديد نطاق التحليل، سعى ميسِّرو اللعبة إلى التمييز بين نقاط الضعف الجديدة التي ترتبط بالتحديد بقدرات واجهة الدماغ والحاسوب المستقبليّة وتلك المرتبطة باعتمادٍ مستقبليٍّ أكبر على التكنولوجيا عموماً. واتّفق المشارِكون بالإجمال على أنّ مدى نقطة الضعف قد يستند، ضمّن كل واحد من مجالات نقاط الضعف الجديدة، إلى الاعتماد على تكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب وإلى السمات المحدّدة للتكنولوجيا بحدّ ذاتها على حدٍّ سواء.

نقاط العطل المُحتَمَلَة الجديدة

لقد تَمَثَّل مجال ضعف رئيسي بأنّ الاعتماد على استخدام واجهة

الدماغ والحاسوب (BCI) قد يُشكّل طرقاً جديدةً لخصمٍ ما لقطْع خدمة الوصول إلى التكنولوجيا، ما يُحتَمَل أن يجعل وحدةً ما أقلّ فعاليّةً. تستنتِج دراسةٌ حول التخاطر الاصطناعي أُجريَت عام 2014 أنّ "التواصل بين الأدمغة على الإنترنت قد لا يكون البتة الحلّ الأفضل بالنسبة إلى ساحة المعركة، على الرغم من ملايين الدولارات التي تُصرَف في أبحاث البنتاغون (Pentagon) والمُخصَّصَة لاستكشافه."[119] قد يُعزى ذلك جزئياً إلى احتمال قطْع الخدمة. فقد يقترن بالتالي أمن الشبكة فيما بين الأدمغة، أو بين الأدمغة والآلات، وضعْف الشبكة في وجْه النبض الكهرمغناطيسي، بأهميّة قصوى مع بدء هجمات الحرب الإلكترونية (EW). في الواقع، تنشأ هذه القضية خارج مجال واجهة الدماغ والحاسوب مع زيادة الاهتمامات في التواصل الشبكي الآمن في ساحة المعركة.

قد يكون الاعتماد المفرط على وسائط النقل الجديدة إشكالياً بالنسبة إلى أي تكنولوجيا جديدة، بما في ذلك ساحات المعارك المستقبليّة المدفوعة من إنترنت الأشياء (IoT)، وقد يشكّل على الأرجح الحفاظ على قنوات التواصل أولويّة. على الرغم من ذلك، قد تطرح واجهة الدماغ والحاسوب نقطة ضعْف خاصّة بسبب اعتمادها التقنيّ على الكشف عن إشارات كهربائية ضعيفة جداً. ففي وضْعٍ قائمٍ في ساحة المعركة، من المحتمل أن يتمّ التشويش على هذه الإشارات الضعيفة. وبحسب ما لاحظه عضو في الفريق الأحمر (أي فريق التحدي)، تملك روسيا قدرات كبيرة من حيث الحرب الإلكترونيّة مُضمَّنَة حتّى على المستوى التكتيكي الأدنى. وقد تشمل خيارات التخفيف الخوذات أو الأقنعة التي تُشكّل نوعاً من قفص فاراداي (Faraday cage) الذي يحمي المُستَخدِم من محاولات التشويش. على الرغم من ذلك، قد تجعل زيادة الوزن وتراجُع الرؤية اللذين قد ينتجا عن استخدام هذه التجهيزات من هذا خياراً إشكالياً.

وصول الخصوم إلى معلوماتٍ جديدة

بالإضافة إلى خطر التشويش على الإشارات، ثمّة خطر أن يعترض الخصوم الإشارات ويستخدمونها. قد تكون التكنولوجيات التي توفّر الوصول إلى الحالات العاطفيّة أو المعرفيّة لمشغّل ما كنزاً دفيناً بالنسبة إلى جمْع البيانات الاستخباراتية من قِبَل الخصوم. لقد استَهدَفَت روسيا بحسب ما يُزعَم الهواتف الذكيّة التابعة لجنود حلف شمال الأطلسي (الناتو) (NATO) للحصول على معلومات بشأن العمليات وقوّة الجنود، في حين قامت الحكومة الصينيّة بحسب ما يُزعم بتخريب (بقرصنة) حواسيب مقاولين عسكريين إلكترونياً لاستخراج بيانات حساسّة جداً حول حرب غواصات مستقبليّة.[120] قد توفّر بشكلٍ معقولٍ تكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب التي تتيح الوصول المباشر إلى أدمغة العسكريين للمنافسين شبه المكافئين معلومات قيّمة بشأن توزيع القوّات، والاحتكاكات التنظيميّة، ونقاط الضعف الأمريكيّة في صفوف العسكريين الأفراد بحدّ ذاتهم. وقد تعتمد على الأرجح درجة ضعْف أدمغة المشغّلين على دقّة تكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب المُستَخدَمَة، وكميّة المعلومات الحساسة التي وصَل إليها المشغّلون، وصلابة الإجراءات المضادّة الجسديّة والسلوكيّة المُصمَّمَة لإحباط محاولات التخريب (القرصنة) الإلكتروني من قِبَل الخصوم.

المجالات الجديدة للتعرُّض للضرر أو التأثير

لاحظ المشارِكون في الفريق الأحمر (أي فريق التحدي) أنّه وبالنظر إلى إمكانية اتّصال تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) مباشرةً بدماغ مشغّلٍ ما، فهي قد تُشكّل مجالات جديدة للاستغلال المحتمل. ومن المرجّح أن تكون نقاط الضعف الجسديّة الأكثر حدّةً مع متغيِّر التكنولوجيا الباضِع. يُشْتَبَه أصلاً بأنّ الهجمات غير التقليديّة تسبَّبَت بإصابات الدماغ الرضحيّة لدى الموظّفين الحكوميين الأمريكيين في الصين وكوبا.[121] في حال كان الخصوم يختبرون حالياً تعطيل الدماغ البشريّ عن بُعد باستخدام الأمواج فوق الصوتيّة، أو الموجات الصِّغريّة، أو أساليب أخرى، قد توفّر الأجهزة المزروعة الدخول المباشر إلى الدماغ لإحداث ضرر. وكما من الممكن تخريب (قرصنة) مُنَظِّم ضربات القلب (pacemaker) أو مِضَخَّة الأنسولين (insulin pump) إلكترونياً، من الممكن تصوُّر أنّ أحدهم قد يتمكّن، ولو في المستقبل البعيد، من تخريب (قرصنة) واجهة دماغ وحاسوب إلكترونياً وإرسال أوامر معرفيّة أو حتّى أفكار إلى الدماغ.[122]

تقدّم التقارير حول الدعاية المحددة *(pinpoint propaganda)* الروسيّة، وهي كناية عن رسائل نصيّة تسعى إلى إحباط الجنود الأوكرانيين الفرديين من خلال تهديدات وتقارير كاذبة عن فرار القيادة، رؤيةً حول تَمَكُّن التكنولوجيا من تعزيز تكتيكات التحكُّم العاطفيّ.[123] فإنّ تخريب (قرصنة) قدرات واجهة الدماغ والحاسوب إلكترونياً قد تمنح الخصوم نظرياً مساراتٍ مباشرةً للوصول إلى المراكز العاطفيّة والمعرفيّة في أدمغة المشغّلين لزرْع الإرباك أو الاضطراب العاطفيّ. وفي أقصى الحالات، قد يرسل نظرياً تخريب (قرصنة) الخصوم الإلكترونيّ لأجهزة الدماغ والحاسوب التي تؤثّر على قشرة الدماغ الحركية لدى المشغّلين البشريين توجيهات خاطئة أو يستنبط أفعالاً غير مقصودة، على غرار إطلاق النيران الصديقة، على الرغم من أنّه قد يكون من الصعب تقنياً تحقيق هذا التأثير في المدى القريب. وحتّى هجوم أدّى إلى تدهور المهارات الحركيّة الإجمالية إلى حدٍّ كبير قد يتّضح أنّه مُضْعِفٌ أثناء القتال.

نقاط الضعف المؤسساتيّة

الثقة

لقد كان البحث حول واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) المرتبط

بالتطبيقات التكتيكيّة مدفوعاً إلى حدٍّ كبيرٍ من "شدّ" التقدّمات التكنولوجية، بدلاً منه من "جذْب" الطلبات على قدرات واجهة الدماغ والحاسوب من قبَل المجال العسكريّ. فقد أشار بعض المشارِكين في اللعبة إلى أنّه كان من المرجّح أن يُشَكِّك العسكريون بالفائدة العمليّة لتكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب. وعلى الرغم من أنّ قضية الثقة هذه لا تقتصر على تكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب، إلّا أنّها يجب أن تشكّل نقطة تركيزٍ للسياسات المستقبلية. قد يكون أولئك الذين يتمتّعون بخبرةٍ مباشرةٍ في المشاة والالتحام أكثر قلقاً بشأن مخاطر التكنولوجيا وعيوبها المحتملة بسبب الحاجة إلى تحقيق التوازن بين التكنولوجيا والفتك.[124]

ويجوز أن يتعقّد أيضاً القبول بواجهة الدماغ والحاسوب بفعْل ظاهرةٍ عامّةٍ يُشار إليها في أوساط أخلاقيات عِلم الأحياء (البيولوجيا) بمصطلح "عامِل التقزز" ("yuck factor") حيث تُثار استجابةٌ عاطفيةٌ سلبيةٌ بفعل التقدّمات الجديدة في التكنولوجيا البيولوجيّة.[125] وقد يُرجَّح أن يكون نقْص الثقة أكثر حدّةً بالنسبة إلى واجهة الدماغ والحاسوب الباضِعَة، التي تتطلّب إجراء تغييرات في الجسم البشريّ وتطرح مخاطر صحيّة، مثل الالتهاب. وقد تتأثّر الثقة أيضاً بنطاق المعلومات التي يتم الوصول إليها بواسطة تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب. فقد لا يريد العسكريون منْح الحكومة الأمريكية، أو آلاتها، الوصول إلى الأعمال الداخليّة لعقولهم.

بالإضافة إلى ذلك، قد تثير السرعة المحتملة لعملية صنْع القرارات التي تسمح بها واجهة الدماغ والحاسوب، بالإضافة إلى تفويض المهام للذكاء الاصطناعي (AI)، مخاوف خاصّة بين المحاربين.[126] قد تكون هذه المخاوف قائمةً في بيئةٍ مدفوعةٍ من التقدّمات التكنولوجيّة حتّى في غياب واجهة الدماغ والحاسوب. وقد يُقابِل بعض هذه المخاوف أيضاً ظهور التكنولوجيات المدنيّة التي تستخدِم واجهة الدماغ والحاسوب، أو التحوّلات الجيليّة التي تُسْفر عن قوّةٍ حيث تكون تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب وتدخّلات التكنولوجيا البيولوجيّة أكثر مقبوليّة.[127] وفي مجالات أخرى من التعزيز البشريّ، بما في ذلك العقاقير المحفِّزة للأداء (study drugs)، أو المودافينيل (modafinil)، أو التحفيز بالتيار المباشر عبر الجمجمة (tDCS)، تجاوَزَت التكنولوجيات والتطبيقات المدنيّة تلك الخاصة بوزارة الدفاع الأمريكية (DoD). في حال كان هذا الاتجاه ليستمرّ مع واجهة الدماغ والحاسوب، قد يؤدّي الاعتماد العسكري بشكلٍ معقول إلى تأخير الاعتماد المدني، معزِّزاً بشكلٍ محتملٍ الثقة الشعبية بالتكنولوجيا.

وعلى العكس، قد تؤدي الثقة الكبيرة بتكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب إلى مضاعَفَة نقاط الضعف العملياتية المحتملة: فقد يكون المحاربون يوماً ما، في سياق اعتمادهم على تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب، عاجزين عن العمل في غيابها. وسلّط المشارِكون الضوء على الحاجة إلى التكرار. فقد تشمل الأمثلة الحفاظ على أجهزة الراديو الآمنة لتكملة التخاطر بواسطة الحاسوب (computer-mediated telepathy)، وضمان استمرار بقاء أعضاء الوحدات العسكريّة على درايةٍ جيّدةٍ بتقنيات الملاحة التقليدية، وضمان طُرُق بديلة للتواصل مع الآلات في ساحة المعركة.

تآكل تماسك الوحدة

في الوقت الذي يصبح فيه البشر متشابكين بشكلٍ أوثق مع الآلات من خلال واجهة الدماغ والحاسوب (BCI)، قد يكون للتكنولوجيا تداعياتٌ عميقةٌ بالنسبة إلى العلاقات بين الأشخاص التي أدّت تقليدياً دوراً بارزاً في القتال في الحرب. قد يصعب التنبؤ بالتداعيات. فمن جهة، قد تزيد قدرةٌ على الشعور مباشرةً بأفكار الأعضاء الآخرين من فريقٍ قتاليٍّ ومشاعرهم من تماسك الوحدة. ومن جهةٍ أخرى، ثمّة دليلٌ على أنّ التقدّمات في تكنولوجيات التواصل الافتراضي التي تتيح "الضربات المنسَّقَة في غرفة الدردشة" قد تقلّص أصلاً الروابط العاطفية والنفسيّة بين الجنود.[128] وإلى الحدّ الذي قد تستبدل قدرات واجهة الدماغ والحاسوب المستقبليّة التفاعلات التقليديّة بين أعضاء وحدةٍ عسكرية، فهي قد تغيّر بشكلٍ أساسيّ طبيعة هذه العلاقات البشريّة. وقد يُضاعِف استخدامٌ متزايدٌ للروبوتات والذكاء الاصطناعيّ (AI) في القتال هذا التحدّي. في الواقع، أشار بحثٌ أوّليٌّ حول الروبوتات في ساحة المعركة إلى تطوُّر ارتباطٍ قويّ بين الإنسان والروبوت، أو حتّى شعور "بالامتداد الذاتي في الروبوت" والذي قد يؤثّر على عملية صنْع القرارات العملياتيّة.[129]

وبشكل أوسع نطاقاً، يطرح إدخال تكنولوجيات جديدة لواجهة الدماغ والحاسوب أسئلةً حول الهيكلية المستقبليّة للقوة البشرية. فكيف تبدو عليه شركةٌ أو فصيلةٌ ما عندما يكون بعضٌ من القوّة أو القوّة بأكملها موصولة عصبياً بأنظمة أسلحة، أو طائرات بدون طيار، أو روبوتات مختلفة؟ وهل ستكون هذه القدرات مُدمَجَة، أو هل سيتم تخصيصها لمفارز متخصّصة؟ وكيف قد يؤثّر ذلك على تماسك الوحدة عندما يتمكّن كبار الضباط من رصْد عواطف العسكريين أو حتّى أفكارهم، أو عندما يصل بعض أعضاء الوحدة إلى قدرات واجهة الدماغ والحاسوب في حين لا يصل إليها آخرون؟

قد لا يريد العسكريون منْح الحكومة الأمريكية، أو آلاتها، الوصول إلى الأعمال الداخليّة لعقولهم.

تآكل قيادة الوحدة

قد تقوّض بشكلٍ محتملٍ التكنولوجيات التي تسمح لكبار الضبّاط برصْد أدمغة الأفراد القتاليين والتواصل معها مباشرةً القيادة الفعّالة على مستوى الفرقة، مُوَسِّعةً نطاق الإدارة التفصيليّة إلى حدودٍ جديدة. ففي ديناميكيّة افتراضيّة، قد تؤدّي تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) إلى تفاقُم اتّجاهٍ قائمٍ نحو ما أُطلِقَت عليه تسمية الجنرال التكتيكي *(tactical general)*: فقد يميل كبار الضبّاط، المُمَكَّنين من هذه التكنولوجيات الجديدة مثل الموجزات الوارِدَة من الطائرات بدون طيّار، إلى استخدام هذه التكنولوجيات لفرْض سيطرةٍ أكبر على المشغِّلين في ساحة المعركة.[130] ومن المُحتمَل أنّ تؤدي تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب المستقبليّة التي تتيح التواصل المباشر بين الأدمغة إلى تفاقُم هذه الديناميكية، ما يساهم في مقاربةٍ أكثر روبوتيّة، وأقلّ تكيّفيّةً ومرونةً للقيادة على مستوى الوحدة.

قد تتعرّض أيضاً القيادة على مستوى الوحدة للخطر بفِعْل تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب التي تتيح للقيادة العليا الوصول إلى حالات الأفراد النفسيّة، والعاطفيّة، والمعرفية. فقد تَمَثَّل من الناحية التقليدية دور قائد الفرقة بفهْم الحالات الجسديّة والعاطفية لفريقه أو لفريقها على مدار أشهُرٍ من العلاقات، والتقييم، والتدريب، والخبرة في مجال القتال. وقد تكون التكنولوجيات التي سَمَحَت لكبار الضبّاط بتجاوُز القادة على مستوى الوحدة والتنبؤ بأحكامهم آخذةً بتقويض قيادة الوحدة بدلاً من دعْمِها.

المخاطر الأخلاقيّة والقانونيّة

قبْل عقدين من الزمن، كَتَب علماء أخلاقيات التكنولوجيا البيولوجيّة أنّ "الأكثر رعْباً من بين تداعيات تكنولوجيا [واجهة الدماغ والحاسوب] [BCI] هو الاحتمال الخطير بأنّها قد تيسِّر التحكُّم الشموليّ بالإنسان. ... وهو قلقٌ بارزٌ ينطوي على مَن سيتحكّم بالتكنولوجيا وما الذي سيتم برمجته."[131] أمّا مؤخراً، فقد شكَّلَت المعاهد الوطنيّة للصحّة (National Institutes of Health) مجموعة عمل تُعنى بالأخلاقيات العصبيّة وتجتمع على أساسٍ دوريٍّ للنظر في التحديّات الأخلاقيّة في سياق تطوير التكنولوجيات العصبية عموماً، بما فيها واجهة الدماغ والحاسوب، أو تطبيقها.[132] ومع تقدُّم تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب، ستدعو الحاجة إلى قيام الهيئات الحكوميّة التي تدعم التكنولوجيات وتستخدمها بتطوير أنظمةٍ للإشراف على استخدام واجهة الدماغ والحاسوب وإدارتها للتخفيف من سوء الاستخدام. وتُشدّد دراسةٌ أجرتها الأكاديمية الوطنيّة للعلوم (National Academy of Sciences) بشكلٍ خاصٍّ على الحاجة إلى شبكات الأمان التنظيميّ في تطوير تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب المستقبلية وتطويرها.[133] يستكشف هذا القسْم قضيّتيْن جديرتيْن بالبحث من الناحية الأخلاقيّة والقانونيّة هما: المسؤوليات تجاه مشغِّلٍ لواجهة الدماغ والحاسوب خلال فترة خدمته العسكرية وما بعْدها على حدٍّ سواء، ومسؤوليات مشغِّل واجهة الدماغ والحاسوب عن التدابير التي يتمّ اتخاذها في سياق القتال بالاعتماد على تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب.

المسؤوليّة تجاه مشغّل واجهة الدماغ والحاسوب (BCI)

ستستدعي إنجازات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) أخْذ المخاطر التي يتعرّض لها المشغِّلون في عين الاعتبار، والتي قد يتضخّم البعض منها في سياقٍ عسكريّ. قد تحدث المخاطر المحتملة التي يتعرّض لها المشغِّلون خلال البحث والتطوير (R&D)، وخلال العمليات، وحتّى بعد فترةٍ طويلةٍ من التعرُّض. وكما هي الحال بالنسبة إلى أيّ تقدّمٍ تقنيٍّ بيولوجيٍّ، ستدعو الحاجة إلى أن تستعدّ الحكومة الأمريكيّة للمسؤوليات الجديدة عند كل مرحلة من الاستخدام. يبدأ تقريرٌ صَدَر عام 2014 عن الأكاديميّة الوطنيّة للعلوم (National Academy of Sciences) وتمّ إعداده بتفويضٍ من وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (DARPA)، بمعالَجَة المخاطر المحتملة المرتبطة باستخدام التكنولوجيات العصبيّة في وضعيّةٍ عسكريّة، ولكن من المرجَّح أن تنشأ أسئلة إضافيّة مع تقدُّم التكنولوجيات.[134]

تُمَثِّل سلامة التدخلات المرتكزة إلى العلوم العصبيّة قلقاً أوّلياً بالنسبة إلى الحكومة الأمريكيّة.[135] ليست المخاطر الصحيّة المرتبطة بواجهة الدماغ والحاسوب معروفةً بالكامل حالياً. فقد تثير التقنيّات الباضِعَة النقاش العامّ الأكثر حدّةً حول التأثيرات على الصحّة، بالنظر إلى واقع أنّها تتطلّب زرْع جسْم غريبٍ في عضو أساسيّ وقد تقترن بمخاطر فوريّة من حيث الالتهاب الناتِج عن الجراحة. على الرغم من ذلك، إنّ التداعيات الطويلة المدى للتقنيّات غير الباضِعَة مجهولة أيضاً.[136]

إنّ لمدى إحداث التكنولوجيات العصبيّة تغييرات في الدماغ والجسد البشريَين تداعيات قانونية، كما أخلاقيّة. بموجب القانون، تُعتبر وزارة الدفاع الأمريكية (DoD) مسؤولةً عن أيّ تغييرات تطال جسد محارِب قديم خلال فترة خدمته. وإلى الدرجة التي قد تُغيِّر فيها واجهة الدماغ والحاسوب الوضْع الصحيّ الأساسيّ لعسكريٍّ ما على المدى الطويل، قد تكون الحكومة الأمريكيّة مسؤولةً عن أي إعاقةٍ مرتبطةٍ بالخدمة.[137] وبما يتجاوز التداعيات الجسدية الناتجة عن التكنولوجيا بحدّ ذاتها، قد يؤدّي سحْب القدرات "الخارِقة" التي توفّرها واجهة الدماغ والحاسوب، مثل التحكّم بالآلات أو التعزيز المعرفي، إلى إحداث ضررٍ نفسيٍّ قد تكون الحكومة الأمريكية مسؤولةً عنه.

وبالنظر إلى المخاطر المحتملة من حيث السلامة والمرتبطة بواجهة الدماغ والحاسوب، قد تحتاج أي وكالة حكوميّة أمريكيّة تطوِّر التكنولوجيات وتشغّلها إلى النظر في كيفيّة حماية مبدأ موافَقَة

المشغِّلين المستنيرة والطوعيّة. وقد يتم تعقيد الموافقة على أيّ تكنولوجيا جديدة وخطيرة بشكلٍ محتملٍ بفعْل "الضغوط التنافسيّة والإرغاميّة" الفريدة الخاصّة بالسياق العسكري.[138] لقد دَفَعَت الاستقلالية الشخصيّة المحدودة للأفراد العسكريين، بالإضافة إلى نقْص المعلومات حول المخاطر الصحيّة الطويلة المدى، ببعض علماء الأخلاقيات من خارج الحكومة للجدل بأنّ تدخّلات واجهة الدماغ والحاسوب، على غرار تقنيّات تحفيز الدماغ غير الباضِعة، هي حالياً غير ملائمة لوضعيّةٍ عسكريّةٍ أو لوضعيّةٍ أمنيّة.[139]

وبما أنّ تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب قد تتيح الوصول المباشر إلى الدماغ البشريّ، ستحتاج الحكومة الأمريكية إلى النظر في التداعيات على خصوصيّة المشغِّلين وحريّتهم.[140] وتُشكِّل الحريّة المعرفيّة قلقاً ذا صلة بالنسبة إلى التعزيزات العصبيّة وذلك، وبحسب ما عبّر عنّه عالِمٌ في مجال الأخلاقيات البيولوجيّة، لأنّها "تُعنى بعضو يؤثّر على الهويّة البشريّة."[141] بالنظر إلى هذه التحديّات، اقترح علماء الأخلاقيات أربعة حقوق ناشئة هي: "الحقّ في الحريّة المعرفيّة، والحقّ في الخصوصيّة العقليّة، والحقّ في السلامة العقلية، والحقّ في الاستمراريّة النفسيّة."[142] بما أنّه من المرجّح أن يتطوّع قليلون لمهمّةٍ تقضي نهائياً على الخصوصيّة الشخصيّة، قد تستفيد وزارة الدفاع الأمريكية من تطوير سياسات هادِفة حول الخصوصية مُحيطة باستخدم واجهة الدماغ والحاسوب قبْل اعتماد التكنولوجيا. وبشكلٍ خاص، كيف يمكن تطبيق حقوق الخصوصيّة العقلية والمعرفيّة في بيئة قتاليّة؟ وعلى المدى الأطول، هل سيتم إخفاء مصدر البيانات التي يتمّ استخراجها من أدمغة العسكريين من خلال واجهة الدماغ والحاسوب؟ وهل يُفتَرَض أن تنقضي؟ وبدلاً من ذلك، هل سيمكن استخدام هذه التكنولوجيا لتحديد "المحاربين الخارقين" لتشكيل قوات نخبويّة مستقبليّة؟

يشدّد علماء الأخلاقيّات أيضاً على الحاجة إلى مراجعةٍ مؤسساتيّةٍ مستقلّة، وتدريبٍ ملائم، وامتثالٍ للمبادئ التوجيهية الدولية.[143] وقد سلّط مدير برنامج وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية آل إيموندي (Al Emondi) الضوء على بعض الأسئلة الأخلاقيّة المحيطة بواجهة الدماغ والحاسوب، مُتَوَقِّعاً أنّه "في حال كان الجيل القادم من التكنولوجيا العصبية غير الجراحيّة (N3) ناجحاً ... قد نواجه مسائل مرتبطة بالسلطة، والاستقلالية، وتجربة المعلومات التي يتمّ إرسالها للمُستخدِم."[144] وفي السياق العسكريّ، قد تنظر الإدارات في آليات التحكيم بحيث قد يناقش العسكريون وضبّاطهم الآمرون الاستخدامات اللاأخلاقيّة أو الضارّة لتكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب أو قد يعترضون عليها. قد تقع هذه الآليّة خارج سلسلة القيادة، كما هي الحال بالنسبة إلى "القناة المعارِضَة" ("dissent channel") في وزارة الخارجية، في محاولةٍ لمكافحة بعض الضغوط المؤسساتيّة الناتجة عن منظّمة شديدة الهرميّة.

يشدّد علماء الأخلاقيّات أيضاً على الحاجة إلى مراجعةٍ مؤسساتيّةٍ مستقلّة، وتدريبٍ ملائم، وامتثالٍ للمبادئ التوجيهية الدولية.

مسؤوليّة مشغّل واجهة الدماغ والحاسوب (BCI)

كما هي الحال بالنسبة إلى عددٍ من القضايا الأخلاقية والقانونية، لا تقع المسؤوليات على عاتق المؤسسة فحسب، وإنّما أيضاً على عاتق الفرد. لقد أثار مثلاً توقُّع وجود أنظمة مستقلّة قاتِلة في ساحة المعركة المستقبليّة مناقشةً واسعة النطاق حول التحديات القانونية والأخلاقية المحتملة المرتبطة بالمحاسبة البشريّة عن قوانين الحرب، بالإضافة إلى الحاجة إلى الاحتفاظ بالسلطة والنيّة البشريتين في اتّخاذ القرارات حول استخدام القوّة.[145] وبحسب ما لاحظه كاتب، عندما يقتل نظامٌ مستقلٌّ أشخاصاً غير المقاتلين، مَن يتحمّل المسؤولية؟ هل مُبرمجو البرمجيات الذين قاموا بالترميز لتحديد الهدف، أو الضابط الآمر الذي يستخدِم النظام، أو قائد المقاتلين الذي صرَّح بتشغيل النظام واستخدامه، أو شخص آخر؟[146] وقد تَمَثَّل مفهومٌ توجيهيٌّ في هذا الجدل بالتحكُّم البشري الهادِف، ما يعني أنّه يتوجّب على شخصٍ ما اتّخاذ القرار النهائي بشأن ما إذا يتم قتْل إنسان آخر أم لا. لقد كان هذا المنطق هو الذي دفَع بوزارة الدفاع الأمريكية (DoD) لتطوير توجيهٍ يتطلّب أن تسمح أنظمة الأسلحة المستقلّة للمشغِّلين بممارسة "مستويات ملائمة من الحُكم البشريّ على استخدام القوّة."[147] وبحسب ما اقترحته مؤخراً اللجنة الدولية للصليب الأحمر (International Commit-tee of the Red Cross)، يجب أن يكون انخراط الإنسان من "نوع ودرجة التحكُّم الذي يحافظ على السلطة البشريّة وأن يتمسّك بالمسؤولية الأخلاقيّة في القرارات بشأن استخدام القوّة."[148] على الرغم من ذلك، يمكن أن يكون مصطلح هادِف غامضاً وقابلاً للجدل في معظم الأحيان، ويجب بالتالي إعادة النظر فيه مع نشوء تكنولوجيات جديدة وتقدُّمها.[149]

قد يزيد دمْج الذكاء الاصطناعي (AI) في ساحة المعركة والوتيرة المتسارعة للحرب المستقبليّة من صعوبة ضمان احتفاظ وزارة الدفاع الأمريكية "بمستويات ملائمة من الحُكم البشريّ" فيما يتعلّق بالقرارات بشأن استخدام القوّة. وبحسب ما أُشير إليه سابقاً،

قد تساهم واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) أيضاً في تَشتُّت مسؤولية المشغِّل.

قد تتيح واجهة الدماغ والحاسوب للبشر تسريع عملية صنْع القرارات في محاولةٍ للمحافظة على الصلة العملياتيّة في ساحة معركةٍ تدمج الذكاء الاصطناعيّ.[150] وإن كان هذا الأمر مُجدياً تقنياً، ليس من الواضح ما إذا قد يتيح قرارٌ مُتَّخَذٌ ضمن الإطار الزمني اللازم إصدار حُكم أدبيّ وأخلاقيّ معقول.

قد تساهم واجهة الدماغ والحاسوب أيضاً في تَشتُّت مسؤولية المشغِّل. ما أن يعمل البشر والآلات بشكلٍ أوثق (عبْر واجهة الدماغ والحاسوب) لاتّخاذ قرارات بشأن استخدام القوّة في خضم القتال، قد يكون من الأصعب تحديد معنى "التحكّم البشري" الهادِف أو "المستويات الملائمة من الحُكم البشري". في "سلسلة القتل" العسكرية التقليدية، يمكن التراجُع عن القرارات عند كلّ مرحلة لتحديد الذنب القانوني و"شبكة القتل" القائمة حيث يساهم أشخاص متعددون في قرارٍ خطأ ولا يتم إلقاء الذنب في نهاية المطاف على أي واحد منهم.[151] فهل من الممكن أن تتفاقم هذه الديناميكية بفِعْل عملية صنْع القرارات المُيَسَّرة من واجهة الدماغ والحاسوب والتي يتبادل فيها الأفراد الأفكار وصنْع القرارات فورياً مع الآلات والبعض منهم مع البعض الآخر؟

وتثير التغييرات المعرفية والعاطفية المحتملة المرتبطة بتكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب التي تُدخِل تعديلات إلى الدماغ البشريّ مزيداً من الأسئلة حول مسؤولية المشغِّل. فقد استنتج علماء الأخلاقيات أن تغيير مستويات الخوف والعداء لدى العسكريين قد "يعرّض الجنود، ومهامهم، والمجتمع عموماً لخطر الإصابة أو الموت المتزايد."[152] ويشير تقريرٌ صادرٌ عن الأكاديمية الوطنية للعلوم (National Academy of Sciences) إلى أنّ التعطيل الكهربائي لمنطقةٍ واحدةٍ من الدماغ قد يحدّ من الموانع لدى الجنود من اعتماد سلوكيات إشكالية من الناحية الأخلاقية.[153] في حال تم تحفيز هذه المناطق بواسطة واجهة الدماغ والحاسوب في سياق القتال وأدّت إلى ارتكاب فظائع، يسأل التقرير "كيف وفي ظلّ أي ظروف قد تتم محاسبة الجنود الذين يتم التحكُّم بهم عصبياً عن النشاطات التي تنتهك قوانين الحرب؟"[154] حالياً، يُطلب من جنديٍّ ما رفْض أمر لاأخلاقي. فهل ستزيد قدرة الجندي على الرفض تعقيداً في حال أتت التعليمات مباشرةً من جهازٍ مزروعٍ في الدماغ؟ وإنْ كان الأمر كذلك، كيف قد يؤثر تآكل السلطة الشخصية — والذنب — على عملية صنْع القرارات القتالية تأثيراً إضافياً؟ في حين يبدو أنه من غير المرجح أن ينشأ مثل هذا السيناريو في المستقبل القريب أو حتى المتوسط، إنّه عنصر محتمل من مسار التكنولوجيا المستقبلي والذي قد تدعو الحاجة إلى النظر فيه.

خلاصات وتوصيات

التوليف والنتائج المستَخْلَصَة الأوّلية

لقد لاحَظ وزير الدفاع السابق (Former Secretary of Defense)، آشتون كارتِر (Ashton Carter) أنّه وفي حين "تُحْدِث أصلاً وتيرة الابتكار المتسارعة تقدّماً كبيراً ... قد يكون من الحماقة ترْك الجمود يحدّد الأجندة."[155] وفي مثالٍ على ذلك، لقد تقدَّمَت إلى حدٍّ كبيرٍ في الأعوام الأخيرة تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) التي تمّ تطويرها جزئياً بتمويلٍ من وزارة الدفاع الأمريكية (DoD) ومن المرجَّح أن تستمرّ بالتقدُّم، إنْ برعايةٍ حكومية أو أكاديمية أو برعاية القطاع الخاص. وتتوفّر بالتالي للحكومة الأمريكية فرصةٌ لتأدية دور بنّاءٍ في العقود القادمة من حيث دعْم عناصر تكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب التي تُفيد الأمن القومي الأمريكي ومن حيث السعي من أجل التخفيف من المخاطر.

لقد قدَّم هذا التقرير تقييماً أوّلياً للتطبيقات المحتملة لواجهة الدماغ والحاسوب في وضعيّةٍ عسكريةٍ وسلّط الضوء على قضايا محتملة في السياسات يجب معالجتها. وساهم تحليلنا ونموذج لعبتنا في مناقشات ناشئة حول المدى الذي قد تؤدّي فيه تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب إلى ظهور مجالات جديدة من الخطر العملياتي خلال القتال. ونَظَر عملنا أيضاً في كيفيّة احتمال أن تغيِّر علاقةٌ آخذةٌ بالتطوّر بين البشر والآلات، بتيسيرٍ من واجهة الدماغ والحاسوب، الهيكليات والعلاقات العملياتيّة العسكرية القائمة تغييراً عميقاً وتطرح تحديات أخلاقية وقانونية جديدة بالنسبة إلى وزارة الدفاع الأمريكية.

بالإضافة إلى النظر في القضايا في السياسات والقيمة التكتيكية المحتملة لواجهة الدماغ والحاسوب، قدّم هذا البحث مقاربةً منهجيّةً لاستكشاف تداعيات التكنولوجيا الناشئة. وتُعتَبَر هذه المقاربة، التي تدمج مراجعةً للتكنولوجيا، واعتباراتٍ عملياتيّة، وتقسيماً للتكنولوجيا (إلى مجموعةٍ من القدرات العمليّة) في عملية محاكاة (TTX) مع اختبار التداعيات في ساحة المعركة قابلة للتوسيع ويمكن تطبيقها على مجموعة من التكنولوجيات الناشئة.

وقد أشارت لعبتنا والبحث المرتبط بها إلى أنّه، وعلى الرغم من المخاوف المُحِقَّة، يرجَّح أن تكون واجهة الدماغ والحاسوب مفيدةً للعمليات العسكرية المستقبليّة، حتّى في حالة الاختبار الأكثر

صعوبةً وهي: قتال قوّة المشاة البريّة. وقد تصبح هذه المنفعة أوضح بشكلٍ خاصّ ما أن يتمّ تطوير التكنولوجيا للتطبيقات العسكرية للذكاء الاصطناعي (AI) والروبوتات بشكلٍ إضافيّ، وما أن يصل الخصوم إلى هذه القدرات. على الرغم من ذلك، قد يدعم تطبيق واجهة الدماغ والحاسوب المبادرات التكنولوجية الجارية التي تضطلع بها وزارة الدفاع الأمريكية، بما في ذلك التعاون بين الإنسان والآلة لتحسين عملية صنْع القرارات، والعمليات البشريّة بمساعدة الحاسوب، وتشكيل الفِرَق القتالية المتقدّمة التي تستخدِم أنظمة يقودها البشر وأخرى بدون طيار.

وبالطبع، كما هي الحال بالنسبة إلى التقدّمات التكنولوجية الأكثر أهمية، ثمّة مخاطر محتملة. تخضع واجهة الدماغ والحاسوب لمفارَقَة القدرات ونقاط الضعف، مع منافِع ومخاطر متوازية الثقل، ومع تقدُّم جهود التطوير وجهود الاستحواذ في نهاية المطاف، ستدعو الحاجة إلى أن تأخذ المتطلبات هذه المخاطر في الاعتبار. سيشكِّل الأمن الإلكتروني خطراً كبيراً لدى المضي قدُماً، يتضخَّم بفعل استخدام واجهة الدماغ والحاسوب. وبما أنّ الشبكات الإلكترونية تطال تقريباً أبعاد واجهة الدماغ والحاسوب جميعها، سيتوجّب أن يكون التطوير الإضافيّ لقدرات واجهة الدماغ والحاسوب مدموجاً مع إجراءات الأمن الإلكتروني المرتبطة به. وبحسب ما أشارَت إليه الرؤى المستنتَجَة من لعبتنا، في حين كان للتواصل بين البشر المستوى الأعلى من المكافآت والعدد الأكبر من الفرص ليتم استخدامها، فهو شكَّلَ أيضاً المخاطر العملياتيّة والتنظيميّة الأكبر. ستعتمد المخاطر على ما إذا من الممكن تشغيل هذه القدرة ووقْف تشغيلها واستخدامها انتقائياً. وسلّطت اللعبة الضوء على بعض الأفكار للتخفيف من المخاطر العملياتية، بما فيها الاستخدام المحتمل لسبل الوقاية من الحرب الإلكترونية (EW) المُدمَجَة في الدرع، والشبكات الآمنة، والخطوات المُتَّخَذَة لضمان الحفاظ على الأساليب الاحتياطيّة التقليديّة.

التوصيات

للمضي قدُماً، إنّنا نوصي بأن تُجري الحكومة الأمريكيّة لعبةً إضافيّةً حول الأمن القومي من أجل تقييم المخاطر والمنافع العملياتية لتكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) في القتال تقييماً إضافياً، بما في ذلك المخصصات للمجالات الإضافية وحالات الطوارئ. وبما يتجاوز المخاطر العملياتيّة، ستحتاج الحكومة إلى معالجة نقْص الثقة المحتمل بتكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب، وهي قضيّة برَزَت خلال اللعبة باعتبارها عائقاً محتملاً في وجه الاعتماد من قِبَل القوّات المُسلَّحَة. ويتطلّب هذا بدوره إيلاء انتباهٍ خاصٍّ لكيفية نشْر واجهة الدماغ والحاسوب مع نضْجِها. لقد سلّطَت مراجعتنا للتقدُّم التكنولوجي الحالي الضوء على عمليْن مُنجَزيْن في مختبر أكاديمي وآخر في القطاع الخاص، ويجب أن تسعى الحكومة الأمريكية إلى الاستفادة من العمل الذي أُجري في كليهما، لا سيّما في الوقت الذي يهيمن فيه القطاع التجاري بشكلٍ متزايدٍ على البحث والتطوير (R&D) في مجال التكنولوجيا. وسيتطلّب تطوير تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب ونشْرها في قطاع الأمن القومي تكييفاً مؤسساتياً للمُشغِّلين عند كلّ مرحلة من العملية. ونقدّم فيما يلي بعض الاقتراحات الختاميّة حول كلّ واحدة من هذه النقاط.

توسيع التحليلات لإنارة الصلة ونقاط الضعف العملياتيّة

على مدار العقود القادمة، سيكون من الأساسيّ أن تدفع الحاجات والمخاطر العملياتيّة بدلاً من الفرص التقنيّة فحسب، بتطوير واجهة الدماغ والحاسوب (BCI). للمساعَدَة في دعْم هذه الحاجة، طوّرنا مقاربةً منهجيّةً لتقييم التطبيقات العملياتية المحتملة لواجهة الدماغ والحاسوب وغيرها من التكنولوجيات العسكريّة المقبلة. خلال اختبار عملية المحاكاة (TTX)، أسفر اقتران التجربة العملياتيّة مع الخبرة التكنولوجيّة عن مناقشات معمّقة ومُثمرة، ويجب تكرار هذه العملية على نطاق أوسع. قد تكمّل هذه المقاربات التمارين الداخليّة القائمة، مثل تمرين التكنولوجيا البحرية المتقدّمة لمشاة البحريّة (Marine Corps Advanced Naval Technology Exercise)، لاستكشاف الفائدة العملية لواجهة الدماغ والحاسوب والتكنولوجيات المُرتَقَبَة الأخرى للمحاربين المستقبليين.

ومن خلال دمْج فريقٍ أحمر (أي فريق تحدٍّ) تخريبيّ وإبداعيّ من خبراء مؤسسة RAND، سلَّطت اللعبة الضوء أيضاً على مجالات جديدة محتملة من الضعف العملياتي، بالإضافة إلى الأفكار الأوّليّة للتخفيف منها. وفي حين تسعى الحكومة الأمريكيّة إلى بناء المرونة في المراحل الأولى من تطوير واجهة الدماغ والحاسوب، قد تساعد أساليب مماثلة في استكشاف المجموعة الكاملة من تهديدات الخصوم. وبما يتجاوز واجهة الدماغ والحاسوب، تُعتبر المقاربات التي تمّ تطويرها في هذا المشروع الإرشاديّ قابلة للتوسيع ويمكن تطبيقها على مجموعةٍ من التكنولوجيات الناشئة.

معالَجَة نقْص الثقة

لقد تَمَثَّل موضوعٌ رئيسيٌّ برَزَ من الدراسة بأنّ العوائق الثقافية في وجه واجهة الدماغ والحاسوب (BCI)، ولا سيّما في صفوف العسكريين في المشاة، هي على الأرجح كبيرة، وهذا موضوعٌ مشتَرَكٌ لعددٍ من التكنولوجيات الجديدة والناشئة. ويمكن التخفيف من هذه العوائق باتّخاذ الخطوات التالية.

مع دمْج قدرات واجهة الدماغ والحاسوب في القوّة، قد تكون مقبولةً بسهولةٍ أكبر في البداية في صفوف العسكريين الذين

من المهمّ النظر في القضايا الأخلاقيّة وقضايا السياسات قبْل نضوج التكنولوجيات الناشئة ونشْرها.

يعتمدون أصلاً إلى حدٍّ كبيرٍ على تكنولوجيات الآلة، والذين يواجهون متطلّبات أكبر للتفاعل المباشر مع الحواسيب أو الآلات.

وخلال عمليّة البحث والتطوير (R&D) في العقود القادمة، من الأقلّ ترجيحاً أن تواجِه الإجراءات غير الباضِعة مقاومةً ثقافيّة. فقد يكون من الأسهل أيضاً عكْسها والتحكُّم بها. بالمثل، قد يوفِّر العمل على تطبيقات طبيّة أو علاجيّة منافع على المدى القريب للمحاربين الحاليين المصابين بجروح، ومن المرجّح أن يواجه المستوى الأدنى من المقاومة الثقافيّة.

من غير المفاجئ أن تكون ثقة العسكريين بالقدرات التي تمّ فحْصها واختبارها بشكلٍ ملائم قبْل استخدامها أكثر ترجيحاً. وبالتالي، ما أن يتمّ تطوير قدرات واجهة الدماغ والحاسوب بشكلٍ إضافيّ، سيساعد الاختبار القويّ للعُطْل في سيناريوهات غير قتاليّة، بما في ذلك التدريب ومعالَجة البيانات وتحليلها، قبل إدخالها في القتال، على تعزيز الثقة والحدّ من احتمال حصول خطرٍ غير مُتَوَقَّع.

التعاون والتوقُّع

لقد سلّط البحث الذي أُجرِي لهذا المشروع الضوء على أمثلة متعدّدة حيث أثمَر تمويل وزارة الدفاع الأمريكية (DoD) التأسيسي للأبحاث المختبرية حول واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) نجاحات. فقد تَجري التقدّمات المستقبليّة البارزة في القطاع الخاص، ويجب أن تسعى الحكومة الأمريكيّة إلى الاستفادة من البحث والتطوير (R&D) في القطاع الخاص حيث يمكن ذلك. وإنْ تمّت متابعتها بتأنٍ، قد تُسخِّن أيضاً التقدّمات في القطاع الخاص الفجوات على مستوى الثقة في صفوف الجيش: فمع بدْء الجمهور العام الأمريكي باستخدام واجهة الدماغ والحاسوب، قد يتراجع مستوى التشكيك حول استخدامها في وضعيّةٍ للأمن القومي. ومع تقدُّمات التكنولوجيا في القطاع الخاص وبدْء تطبيقها على المجال العسكري، يجب النظر في اللوائح المتعلقة بالتجارة الدولية في الأسلحة (International Traffic in Arms Regulations)، ولوائح إدارة الصادرات (Export Administration Regulations)، وغيرها من القيود المتعلّقة بواجهة الدماغ والحاسوب. ويجب رصْد الملكيّة الفكرية لواجهة الدماغ والحاسوب بتأنٍّ من قبَل وزارة الدفاع الأمريكية ووزارة التجارة (Department of Commerce) خلال المراحل الأولى من التطوير.

ومع تسارُع التكنولوجيا الناشئة، تتزايد أهميّة النظر في الأنظمة المتكاملة وكيفية اعتماد التكنولوجيات المختلفة بعضها على البعض الآخر. قد يتّضح أنّ واجهة الدماغ والحاسوب هي أداةٌ مهمّةٌ لدمْج أنظمة الإنسان والآلة، إنْ من خلال تعزيز تحليل البيانات الضخمة، أو تسريع عملية صنْع القرارات الدقيقة أو تحسين التحكُّم بالهياكل الخارجية، أو أسراب الطائرات بدون طيّار، أو الأنظمة شبه المستقلّة. على الرغم من ذلك، ثمّة خطر من أن يجري البحث بشكلٍ منعزلٍ بدون أخْذ التكنولوجيات الناشئة الإضافية وذات الصلة في الاعتبار. بالتالي، يجب أن تستعدّ جهود التطوير الحاليّة لتَوَفُّر واجهة الدماغ والحاسوب في نهاية المطاف، حتّى وإنْ كانت تطبيقاتها لا تزال حالياً في مرحلة البحث الأساسيّ.

التخطيط مسبقاً للتداعيات المؤسساتيّة الناتِجة عن واجهة الدماغ والحاسوب (BCI)

في حين تستعدّ الحكومة الأمريكيّة لدمْج تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) في القدرات العسكريّة المستقبليّة، سيساعد التخطيط المؤسساتيّ الملائم على ضمان إطلاقٍ وتطبيقٍ سلسيْن. ومن المهمّ أخْذ القضايا الأخلاقيّة وتلك في السياسات في الاعتبار قبْل نضوج التكنولوجيات الناشة ونشْرها.

وخلال مرحلة البحث، سيكون من المهمّ مواصلة دمْج الاعتبارات الأخلاقية، والقانونية، والمجتمعيّة في تمويل البحث. تطلب وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (DARPA) حالياً أن تُجري مجموعات البحث تحليلاً أخلاقياً لعددٍ من المِنَح المحيطة بواجهة الدماغ والحاسوب. ويجب أن يستمرّ التحليل الداخليّ المعمّق بما يتجاوز البحث الأساسيّ على مدار تطوير تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب الجديدة ليتم استخدامها في قطاع الدفاع والأمن القومي، وتصميمها وتطبيقها. ويجب أن تواصل الحكومة الأمريكيّة تنفيذ التوصيات الأخلاقيّة الصادرة عن الأكاديمية الوطنية للعلوم (National Academy of Sciences) في مجال التطوير والتطبيق، ولا سيّما فيما يخصّ (1) المسائل حول الموافَقة الخاصّة بالعسكريين، (2) التداعيات الصحيّة المحتملة الناتجة عن واجهة الدماغ والحاسوب الباضِعة، (3) الاعتبارات المحيطة بتعزيز الأداء البشري، و(4) المخاطر المحتملة التي تهدد الخصوصيّة.

ومع نشْر تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب على امتداد مؤسسات الأمن القومي، سترغب الإدارات بتحديد آليات رقابةٍ واضحة لتطوير واجهة الدماغ والحاسوب وتطبيقها. وبالنظر

إلى المجموعة الواسعة من التطبيقات المحتملة لواجهة الدماغ والحاسوب، ثمّة خطر كبير من حيث تحديد مسارات نقْل المعلومات في سياق البحث والتطوير ذي الصلة. يجب أن تتعقّب آلية رقابة على نطاق الوزارة، تقوم بشكلٍ محتمل في مكتب وزير الدفاع (Office of the Secretary of Defense) أو هيئة الأركان المشترَكَة (Joint Staff)، تطويرات واجهة الدماغ والحاسوب وتُراجِعها للحصول على موافقة كبار المسؤولين في وزارة الدفاع. وما أن يتم دمْج واجهة الدماغ والحاسوب في الإدارات، قد تنظر الإدارات الفردية في آليات التحكيم المُنَسَّقَة خارج سلسلة القيادة للسماح للعسكريين ولضباطهم الآمرين بمناقشة الاستخدامات اللاأخلاقيّة أو الضارّة لتكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب أو الاعتراض عليها.

وأخيراً، قد تحتاج وزارة الدفاع الأمريكية إلى التخطيط لمجموعةٍ من حاجات الرعاية الإضافية بالمحاربين والمحاربين القدامى بعْد دمْج تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب. تقترن واجهة الدماغ والحاسوب باحتمال ظهور أبعاد جديدة لمتطلبات الرعاية، تشمل بشكلٍ محتملٍ سحْب واجهة الدماغ والحاسوب، وإصابات الدماغ، واضطراب ما بعْد الصدمة (الرّضح)، والرعاية المستمرّة للأجهزة الباضِعة من خلال وزارة شؤون المحاربين القُدامى الأمريكية (Veterans Affairs).

الملحق. تصميم اللعبة وتطبيقها

لقد تمّ تصميم عملية المحاكاة للإجابة عن السؤال التالي: "هل باستطاعة واجهات الدماغ والحاسوب دعْم الأمن القومي والحرب المستقبليّة، وإنْ كان الأمر كذلك، فكيف؟" يُعتبَر هذا السؤال ملائماً جدّاً للعبةٍ ما لأسباب متعددة. فهو تخميني بطبيعته بشكلٍ أساسيّ، لأنّه ما من طريقة لتحديد ملاحظات القدرات التكنولوجية المستقبليّة اليوم. وبالتالي، فإنّ عدداً من المقاربات التجريبية، مثل صنْع النماذج الأولية والتجارب الميدانية، سابق لأوانه. وفي غياب بيانات من النشاطات الميدانية الأولى، تُمَثِّل الألعاب إحدى الطرق القليلة لجمْع البيانات حول تكنولوجيا جديدة في وضعيّةٍ محدّدة. وقد كنّا مهتمّين أيضاً بأسئلةٍ حول عملية صنْع القرارات البشريّة، فعندما يُعطى اللاعبون خيار استخدام هذه التكنولوجيا، هل يعتمدونه أو هل سيفضّلون الاعتماد على مقاربات أكثر تقليديّة؟ والأمر الأكثر أهميّة ربّما هو لماذا كانوا يتّخذون هذه القرارات؟ على عكْس النمذجة والمحاكاة، اللتين توفّران معنى مفصّلاً لما قد تكون التكنولوجيا قادرة عليه، تركِّز الألعاب على عملية صنْع القرارات البشريّة وكيفيّة تأثيرها في نهاية المطاف على فائدة أداة جديدة. وأخيراً، توفِّر الألعاب منتدى لخبراء مختلفين من أجل جمْع فهمهم الجماعي لتكنولوجيا مثل واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) التي لم يتم استخدامها في وضعيّة عملياتيّة. لقد سمَحَت لنا لعبتنا بتوليف خبرة لاعبين مختلفين لاكتساب صورة أكمل مما قد توفِّره مقابلات فردية وحدها.

اختيار السيناريو

بالاعتماد على مراجعتنا للدراسات السابقة، اخترنا سيناريوهين تكتيكيين مرتبطين بالعمليات الحضريّة لتوفير وضعية للعبة تقترن بالتحديات. وقد دَفَعَت معايير متعددة بهذا الاختيار. أوّلاً، تُشكّل العمليات الحضريّة مجال تركيز للقوة المستقبلية بالاعتماد على اتّجاهات عالمية. فقد سلّط تحليل الجيش الأمريكي الضوء على تحضّر السكّان العالميين ونشوء المدن الكبرى باعتبارهما اتّجاهين رئيسيين قد تنشأ عنهما متطلّبات محتملة للقتال الحضري.[156] ويقوم الجيش ومشاة البحرية على حدّ سواء بتحديث عقيدتهما حول العمليات الحضريّة، وقد أيّدت قيادتاهما علناً بذْل مزيدٍ من الجهود المركَّزَة حضرياً.[157]

ثانياً، تُعَدّ العمليات الحضريّة مجالاً حيث غالباً ما يتمّ التشكيك في قيمة التفوّق التكنولوجي. وبحسب ما أشار إليه المنشور المُشترَك رقم 3–06 بعنوان العمليات الحضريةّ المشترَكَة (Joint Publication 3–06, *Joint Urban Operations*)، "قد تحدّ المدن من مزايا القوّة المتفوّقة تكنولوجياً."[158]

وأخيراً، أدّى اختيار البيئة الحضرية دوراً في العوائق الثقافيّة المُحدَّدَة مسبقاً. فقد كان من المرجّح أن تكون المشاة في الجيش ومشاة البحريّة الأكثر تشكيكاً في قيمة واجهة الدماغ والحاسوب خلال القتال. فقد كانت المشاة تقليدياً قوّة القتال الأوّلية في البيئة الحضرية، ولذلك فإنّ إعداد اللعبة هناك كان ليوفّر اختباراً قويّاً لبعض العوائق الثقافية التي قد تحول دون نشْر واجهة الدماغ والحاسوب بفعاليّة.

وفي النطاق المحدود لبحثنا الإرشاديّ، قد ننظر فحسب في حفنةٍ من السيناريوهات المتّصلة بنوعٍ واحدٍ من العمليات. فبالنظر إلى هذا القيد، اخترنا اعتماد منطقٍ مماثلٍ لمنطق "الحالة الحرجة".[159] في حال بَيَّنَت اللعبة أنّ واجهة الدماغ والحاسوب كانت مفيدة، حتّى في ظلّ ما توقّعنا أنّه وضعيّات صعبة، قد يوفِّر ذلك دليلاً حول المنفعة المحتملة لواجهة الدماغ والحاسوب في ساحة المعركة.[160] وقد زاد اختيار سيناريو مثير للتوتّر من أرجحيّة أن يدور جدل حادّ حول كيف ولماذا كانت واجهة الدماغ والحاسوب أو لم تكن مفيدة، ما يوفّر لنا بيانات أغنى لاستكشافها.

عمليّة سيْر اللعبة

لقد تَمَحوَرَت لعبتنا حول اتّخاذ اللاعبين قراراً حول أي ناحية أو مكوّن من واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) قد يستخدمونها في سياقٍ عملياتيٍّ معيّن. وقد سارَت اللعبة، بالنسبة إلى كلّ واحد من

السيناريوهيْن، في ستّ مراحل هي: (1) تفصيل الرقاقات التي تمثِّل قدرات واجهة الدماغ والحاسوب في مجموعة الأدوات، (2) استلام سيناريو تكتيكي، (3) مناقشة المهام التي يجب إنجازها في السيناريو، والمُنظَمَة بحسب وظائف القتال في الحرب، (4) مع اختيار، كأفراد، أي واحدة من قدرات واجهة الدماغ والحاسوب، إنْ وُجِدَت، قد يقرِّر اللاعبون استخدامها، (5) ومع مناقشة، كمجموعة، الخيارات للإشارة إلى مجالات التوافق أو توضيح مجالات الاختلاف، و(6) استلام التغذية الراجعة من الخبراء حول كيفية استغلال الخصوم لقدرات واجهة الدماغ والحاسوب ومناقشة المخاطر الناتجة عن المقاربة التي تم تطويرها في الخطوتين رقم 4 و5. ويصوّر الشكل A.1 عمليّة سيْر اللعبة ككلّ.

لقد تمّ تصميم المراحل الثلاث الأولى من اللعبة للسماح للاعبين بتطوير فهْم مُشتَرَك لمجموعة أدوات واجهة الدماغ والحاسوب والتحديات المرتبطة بالسيناريو التكتيكي. أوّلاً، تمّ تعريف اللاعبين إلى سبع قدرات أو أدوات في مجموعة أدوات واجهة الدماغ والحاسوب (والوارد وصْفها بالتفصيل في القسْم الذي يحمل عنوان "اختبار قدرات واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) من خلال لعبةٍ حول الأمن القومي"). لقد أتاح هذا الأمر الفرصة للمُشارِكين لاكتساب فهْمٍ مُشتَرَكٍ لنطاق التكنولوجيا من أجل ضمان اختصاصات مُشتَرَكة. وقد تمّ تمثيل كلّ أداة من مجموعة الأدوات برقاقةٍ من رقاقات لعبة البوكر (poker)، تحمل رسماً يصوِّر الأداة. وتمّ بعدئذٍ وضْع اللاعبين في وجه سيناريو تكتيكي ومُنِحوا فرصة مناقشة المهام الرئيسيّة المرتبطة بكلّ واحدة من الوظائف المُشتَرَكَة للقتال في الحرب، وهي: القيادة والتحكّم، والاستخبارات، وعمليات إطلاق النار، والحركة والمناورة، والحماية، والدعم.[161] وقد ضَمَن استخدام الوظائف المُشتَرَكَة للقتال في الحرب نَظَر المشاركين في مجموعة واسعة من المشاكل، في حين سمحَت المناقشة الجماعيّة بالتوصّل إلى توافقٍ حول أنواع المهام المشمولة في كلّ مجال.

وركَّزَت الخطوتان الرابعة والخامسة على كيفية اعتقاد اللاعبين أنّه من الممكن استخدام واجهة الدماغ والحاسوب. فبالنسبة إلى كل واحدة من وظائف القتال في الحرب، اختار اللاعبون أداة أو اثنتين من أدوات واجهة الدماغ والحاسوب قد يستخدمونها. وقد أشار اللاعبون إلى هذا الخيار من خلال نقْل رقاقة لعبة البوكر التي تحمل رمز الأداة على "مِفْرَش لتحديد المواقع" فرديّ، والذي بيّن كل وظيفة للقتال في الحرب (ويتم عرْض مثالٍ في الخطوة رقم 4 من الشكل A.1). وأُتيح للاعبين خيار عدم استخدام أي واحدة من أدوات واجهة الدماغ والحاسوب والاعتماد بدلاً من ذلك على الحلول التقليدية، ما تمّت الإشارة إليه بعدم وضْع أيّ رقاقة على المفرش. كانت بحوزة اللاعبين ثلاث رقاقات فقط لكل واحدة من أدوات واجهة الدماغ والحاسوب، لذلك، وفي حين كان بالإمكان استخدام كل أداة أكثر من مرّة، لم يكن بإمكان اللاعبين استخدام الأداة نفسها لمعالَجَة جميع وظائف القتال في الحرب. وبعد أن أُتيحَت الفرصة للأفراد لتحديد خياراتهم، عرضوا في المرحلة التالية على المجموعة أوجُه التشابه والاختلاف الرئيسيّة بين خياراتهم وناقشوها. وقد وفَّر ذلك فرصةً لتوضيح أوجه الفرْق في فهْم الاتجاهات على مستوى تفضيلات اللاعبين وتحديدها.

الشكل A.1

سير عملية المحاكاة حول واجهة الدماغ والحاسوب (BCI TTX)



الملاحظات

[1] نيك ستوكتون (Nick Stockton)، "امرأةٌ تتحكّم بجهاز محاكاة طائرةٍ مقاتِلةٍ باستخدام عقلها فحسب،" ("Woman Controls a Fighter Jet Sim Using Only Her Mind")، وايرد *(Wired)*، 5 مارس/آذار 2015.

[2] مايكل جوزيف غروس (Michael Joseph Gross)، "دَفْع البنتاغون لأدمغة الجنود المُشارِكين في البرنامج" ("The Pentagon's Push to Program Soldiers' Brains")، ذي أتلانتيك *(The Atlantic)*، نوفمبر/تشرين الثاني 2018.

[3] م. أ. كروكوف (M. O. Krucoff)، س. راهيمبور (S. Rahimpour)، م. و. سلاتزكي (M. W. Slutzky)، ف. ر. إدجرتون (V. R. Edgerton)، ود. أ. تيرنر (D. A. Turner)، "تعزيز تعافي الجهاز العصبيّ من خلال علْم الأحياء (البيولوجيا) العصبي، وتدريب الواجهة العصبيّة، وإعادة التأهيل العصبي" ("Enhancing Nervous System Recovery Through Neurobiologics, Neural Interface Training, and Neurorehabilitation")، فرونتيرز إن نيوروساينس *(Frontiers in Neuroscience)*، المجلّد 10، ديسمبر/كانون الأوّل 2016، ص. 584.

[4] وليام إلياسون (William Eliason)، "مقابلة مع روبرت ورك" ("An Interview with Robert Work")، جوينت فورس كوارترلي 84 *(Joint Force Quarterly 84)*، 26 يناير/كانون الثاني 2017.

[5] مارك بوميرلو (Mark Pomerleau)، "استراتيجية المعادِل الثالث التابعة لوزارة الدفاع الأمريكيّة: الأمور التي باستطاعة الإنسان والآلة تحقيقها معاً،" ("DoD's Third Offset Strategy: What Man and Machine Can Do Together")، ديفانس سيستمز *(Defense Systems)*، 4 مايو/أيار 2016؛ آرون ميهتا (Aaron Mehta)، "عملٌ يحدِّد الخطوات الرئيسيّة في تطوير تكنولوجيا المعادِل الثالث،" ("Work Outlines Key Steps in Third Offset Tech Development")، ديفانس نيوز *(Defense News)*، 14 ديسمبر/كانون الأوّل 2015؛ جايسون شِرمان (Jason Sherman)، "وزارة الدفاع الأمريكيّة تكشف عن مجالات التكنولوجيا التي ستدفع بـ'المعادِل الثالث' في الاستثمارات والتجريب،" ("DoD Unveils Technology Areas That Will Drive 'Third Offset' in Investments, Experimentation")، إنسايد ديفانس *(Inside Defense)*، 9 ديسمبر/كانون الأوّل 2015.

[6] سيدني فريدبرغ (Sydney Freedberg)، "جيش القنطور: بوب ورك، والروبوتات، واستراتيجية المعادِل الثالث،" ("Centaur Army: Bob Work, Robotics, and the Third Offset Strategy")، مدوّنة بريكينج ديفانس *(Breaking Defense* Blog)، 2015. راجِع أيضاً آروين ه. ديكوستانزا (Arwen H. DeCostanza)، أمار ر. مارات (Amar R. Marathe)، أديسون بوهانون (Addison Bohannon)، أ. ويليامز إيفانز (A. William Evans)، إدوارد ت. بالازولو (Edward T. Palazzolo)، جايسون س. ميتكالف (Jason S. Metcalfe)، وكالِب ماكدويل (Kaleb McDowell)، "تعزيز التعاون بين البشر وأنظمة الذكاء الاصطناعي بواسطة تكنولوجيات إفراديّة تكيفيّة: مناقشةٌ لأسئلة علميّة أساسيّة،" ("Enhancing Human–Agent Teaming with Individualized, Adaptive Technologies: A Discussion of Critical Scientific Questions")، مديرية الأبحاث والهندسة البشريّة (Human Research and Engineering Directorate)، مختبر أبحاث الجيش (Army Research Laboratory)، مايو/أيار 2018.

[7] تيم مارلر (Tim Marler)، "الملكيّة الفكرية الأمريكيّة،" ("The American Intellectual Property")، ريل كلير ديفانس *(Real Clear Defense)*، 19 ديسمبر/كانون الأول 2017.

[8] بوميرلو (Pomerleau)، 2016؛ ميهتا (Mehta)، 2015؛ شِرمان (Sherman)، 2015.

[9] دانيال سيبول (Daniel Cebul)، "وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية تريد تحقيق الاتصال بين الأدمغة البشريّة والآلات،" ("DARPA Wants to Connect Human Brains and Machines")، تِيك ووتش *(TechWatch)*، 19 مارس/آذار 2018.

[10] سيدني فريدبرغ (Sydney Freedberg)، "الرجل الحديدي، وليس المُنهي: إلهامات البنتاغون من الخيال العلمي،" ("Iron Man, Not Terminator: The Pentagon's Sci Fi Inspirations")، مدونة بريكينج ديفانس *(Breaking Defense* Blog)، 3 مايو/أيار 2016.

[11] فريدبرغ (Freedberg)، 2016.

[12] وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (Defense Advanced Research Projects Agency)، "برنامج تصميم نظام الهندسة العصبية" ("Neural Engineering System Design [NESD] Program")، بيان صحفي، 19 يناير/كانون الثاني 2015.

[13] أ. ف. سالازار-غوميز (A. F. Salazar-Gomez)، ج. ديل بريتو (J. Del Preto)، س. جيل (S. Gil)، ف. ه. جوينثر (F. H. Guenther)، ود. روس (D. Rus)، "تصحيح أخطاء الروبوتات في الوقت الآني باستخدام إشارات المخطط الكهربائي للدماغ،" ("Correcting Robot Mistakes in Real Time Using EEG Signals")، المؤتمر الدولي حول الروبوتات والمكننة لعام 2017 التابع لمعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات *(2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation [ICRA])*، سنغافورة، يوليو/تموز 2017.

[14] س. س نام (C. S. Nam)، أ. نيجهولت (A. Nijholt)، وف. لوت (F. Lotte)، "دليلٌ حول واجهات الدماغ والحاسوب" *(Brain-Computer Interfaces Handbook)*، بوكا راتون، فلوريدا: دار نشْر سي.آر.سي (CRC Press)، 2018.

[15] تم تأسيس الجمعية الدولية لواجهة الدماغ والحاسوب (International BCI Society) عام 2015.

[16] تمّ نشْر الإصدار الأوّل من مجلّة جورنال أوف براين- كومبيوتر إنترفايسز *(Journal of Brain-Computer Interfaces)* عام 2014.

[17] دوغلاس فوكس (Douglas Fox)، "خلايا الدماغ تتواصل مع النبضات الميكانيكية، وليس مع الإشارات الكهربائية" ("Brain Cells Communicate with Mechanical Pulses, Not Electric Signals")، ساينتفك أمريكان *(Scientific American)*، 1 أبريل/نيسان 2018.

[18] ه. بيرجر (H. Berger)، "Ueber das Elektroenkephalogramm des Menschen"، *Archiv fur Psychiatrie und Nervenkrankheiten*، المجلد 87، 1929، ص. 527-570.

[19] ج. ج. فيدال (J. J. Vidal)، "نحو تواصل مباشر بين الدماغ والحاسوب،" ("Towards Direct Brain-Computer Communication")، أنيوال ريفيو أوف بايوفيزيكس أند بايو إنجينيرينج *(Annual Review of Biophysics and Bioengineering)*، المجلد 2، 1973، ص. 157-180.

[20] ثمّة بعض الإشارات اللاكهربائية التي تكون مكتومة أيضاً. فعلى سبيل المثال، تستخدِم الأنظمة الوظيفية للتحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء القريبة الضوء لقياس النشاط المرتكز إلى مستوى تركيز الأكسجين في الدم في الدماغ.

[21] "مبادرة براين" لأبحاث الدماغ من خلال النهوض بالعلوم العصبية المبتكرة" ("The BRAIN Initiative")، الصفحة الرئيسية، غير مؤرَّخ-a.

[22] "ما هي مبادرة "براين" لأبحاث الدماغ من خلال النهوض بالعلوم العصبية المبتكرة؟" ("What Is the BRAIN Initiative?")، منشور على مدّونة، مجلس شيكاغو للعلوم والتكنولوجيا (Chicago Council on Science and Technology)، 24 سبتمبر/أيلول 2015.

[23] وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (Defense Advanced Research Projects Agency)، "نحو واجهةٍ عصبيّةٍ مزروعةٍ عالية الاستبانة،" ("Towards a High-Resolution, Implantable Neural Interface")، بيان صحفي، 10 يوليو/تموز 2017.

[24] باتريك تاكِر (Patrick Tucker)، "الجيش يغيِّر حدود الأداء البشري" ("The Military Is Altering the Limits of Human Performance")، ذي أتلانتيك *(The Atlantic)*، 14 يوليو/تموز 2017.

[25] روجير مولا (Roger Mola)، "خوذةٌ خارقة: طيّارو أف-35 يحصلون على رؤية بالأشعّة السينيّة وغيرها من القوى السحرية" ("Super Helmet: F-35 Pilots Get X-Ray Vision and Other Magic Powers")، إير أند سبايس ماجازين *(Air & Space Magazine)*، سبتمبر/أيلول 2017.

[26] م. هاجينوروزي (M. Hajinoroozi)، ز. ماو (Z. Mao)، و ي. هوانغ (Y. Huang)، "التنبؤ بحالات النعاس واليقظة لدى السائق انطلاقاً من إشارات المخطط الكهربائي للدماغ مع التعلُّم العميق (الاصطناعيّ)،" ("Prediction of Driver's Drowsy and Alert States from EEG Signals with Deep Learning")، ورشة العمل الدولية السادسة حول التقدّمات الحسابيّة في المعالَجة التكيفيّة متعدِّدة أجهزة الاستشعار عام 2015 التابعة لمعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات *(2015 IEEE Sixth International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing [CAMSAP])*، كانكون، 13-16 ديسمبر/كانون الأول 2015، ص. 493-496؛ ساره ريردون (Sara Reardon)، "اختبار الأجهزة المزروعة في الدماغ لمعالَجة اضطرابات المزاج لدى الأشخاص" ("Brain Implants for Mood Disorders Tested in People")، نايتشور *(Nature)*، المجلد 551، 30 نوفمبر/تشرين الثاني 2017، ص. 549.

[27] س. تشين (S. Chen)، "'انسوا أمر تسريبات فيسبوك': الصين تنقّب عن البيانات مباشرةً من أدمغة العمّال على نطاقٍ صناعيّ،" ("'Forget the Facebook Leak': China Is Mining Data Directly from Workers' Brains on an Industrial Scale")، ساوث تشاينا مورنينغ بوست *(South China Morning Post)*، 29 أبريل/نيسان 2018.

[28] ستوكتون (Stockton)، 2015؛ م. كرايجر (M. Kryger)، ب. ويستِر (B. Wester)، إ. أ. بوهلميير (E. A. Pohlmeyer)، م. ريتش (M. Rich)، ب. جون (B. John)، ج. بيتي (J. Beaty)، م. ماكلوفلين (M. McLoughlin)، م. بونينجر (M. Boninger)، وإ. س. تايلر-كابارا (E. C. Tyler-Kabara)، "محاكاة الطيران باستخدام واجهة الدماغ والحاسوب: طيّار، دراسةٌ إرشاديّة،" ("Flight Simulation Using a Brain-Computer Interface: A Pilot, Pilot Study")، إكسبيريمنتال نيورولوجي *(Experimental Neurology)*، المجلد 287، 2017، ص. 473-478.

[29] أ. ف. سالازار-غوميز (A. F. Salazar-Gomez)، ج. ديل بريتو (J. Del Preto)، س. جيل (S. Gil)، ف. ه. جوينثر (F. H. Guenther)، ود. روس (D. Rus)، "تصحيح أخطاء الروبوتات في الوقت الآني باستخدام إشارات المخطط الكهربائي للدماغ،" ("Correcting Robot Mistakes in Real Time Using EEG Signals")، المؤتمر الدولي حول الروبوتات والمكننة لعام 2017 التابع لمعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات *(2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation [ICRA])*، سنغافورة، يوليو/تموز 2017، ص. 6570-6577.

[30] مختبر الروبوتات الموجَّهَة من الإنسان والتحكّم (Human-Oriented Robotics and Control laboratory)، "مشروع البحث رقم 1: التفاعل بين الدماغ وأسراب الروبوتات وواجهات التحكّم،" ("Research Project 1: Brain-Swarm Interaction and Control Interfaces")، الصفحة الإلكترونيّة، جامعة ديلاوير (University of Delaware)، غير مؤرَّخ؛ كارافاس (Karavas)، جورج (George)، دانيال ت. لارسون (Daniel T. Larsson)، وباناجيوتيس أرتيميادِيس (Panagiotis Artemiadis)، "واجهة الدماغ والآلة الهجينة للتحكّم بأسراب الروبوتات: نتائج أوّلية،" ("A Hybrid Brain-Machine Interface for Control of Robotic Swarms: Preliminary Results")، المؤتمر الدولي حول الروبوتات والأنظمة الذكيّة لعام 2017 التابع لمعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات/ الجمعية اليابانية للروبوتات *(2017 EE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems [IROS])*، فانكوفر، كندا، 24-28 سبتمبر/أيلول 2017، ص. 5065-5075؛ أ. بيل (A. Beall)، "الطائرات بدون طيّار التي تحلّق باستخدام التحكّم بالعقل: يمكن توجيه أسراب الطائرات المسيرة من دون طيار التي تمّ تطويرها للجيش الأمريكي بواسطة موجات الدماغ،" ("The Drones That Fly Using Mind Control: Swarms of UAVS Developed for the US Military Could Be Guided by Brain Waves")، ديلي ميل *(Daily Mail)*، 19 يوليو/تموز 2016.

[31] ج. ديرن (J. Dearen)، "الطائرات بدون طيار التي يتمّ التحكّم بها بواسطة العقل في سباقٍ للمستقبل" ("Mind-Controlled Drones Race to the Future")، أسوشيتد بريس (Associated Press)، 2016.

[32] شيتان باندريناث (Chethan Pandarinath)، بول نويوجوكيان (Paul Nuyujukian)، كريستين ه. بلايب (Christine H. Blabe)، بريتاني ل. سوريس (Brittany L. Sorice)، جاد صعب (Jad Saab)، فرانسيس ر. ويلِت (Francis R. Willett)، ليه ر. هوشبيرغ (Leigh R. Hochberg)، كريشنا ف. شينوي (Krishna V. Shenoy)، وجيمي م. هندرسون (Jaimie M. Henderson)، "تواصل عالي الأداء بين الأشخاص الذين يعانون من الشلل باستخدام واجهة الدماغ والحاسوب داخل قشرة الدماغ،"

"High Performance Communication by People with Paralysis Using an Intracortical Brain-Computer Interface")، إي لايف (eLife)، المجلد 6، 21 فبراير/شباط 2017.

33 مركز ستانفورد للأخبار الطبيّة (Stanford Medicine News Center)، "تقدُّم واجهة الدماغ والحاسوب يتيح للأشخاص المصابين بالشلل الطباعة بسرعةٍ وبدقة،" ("Brain-Computer Interface Advance Allows Fast, Accurate Typing by People with Paralysis")، بيان صحفي، 21 فبراير/شباط 2017.

34 أ. ريغالادو (A. Regalado)، "عكْس الشلل،" ('Reversing Paralysis")، أم.آي.تي تيك ريفيو *(MIT Tech Review)*، 22 فبراير/شباط 2017؛ ماركو بونيزاتو (Marco Bonizzato)، جالينا بيدبروزنيكوفا (Galyna Pidpruzhnykova)، جاك ديجيوفانا (Jack Digiovanna)، بولينا شكورباتوفا (Polina Shkorbatova)، ناتاليا بافلوفا (Natalia Pavlova)، سيلفسترو ميسيرا (Silvestro Micera)، وغريغوار كورتين (Grégoire Courtine)، "تعديل الدوائر الشوكيّة بتحكُّمٍ من الدماغ يُحسِّن التعافي من إصابة الحبْل الشوكي،" ("Brain-Controlled Modulation of Spinal Circuits Improves Recovery from Spinal Cord Injury")، نايتشور كوميونيكيشنز *(Nature Communications)*، المجلّد 9، العدد 1، 2018، ص. 3015.

35 ريغالادو (Regalado)، 2017.

36 م. بارمان (M. Parman)، "الذراع الروبوتية تُحقِّق النجاح،" ("Robotic Arm Reaches Toward Success")، رسالة إخبارية صادرة عن جونز هوبكينز *(Johns Hopkins News-Letter)*، 31 يناير/كانون الثاني 2013؛ س. ن. فليشِر (S. N. Flesher)، ج. ل. كولينجِر (J. L. Collinger)، س. ت. فولدس (S. T. Foldes)، ج. م. ويس (J. M. Weiss)، ج. إ. دوني (J. E. Downey)، إ. س. تايلر-كابارا (E. C. Tyler-Kabara)، س. ج. بن سماية (S. J. Bensmaia)، أ. ب. شوارتز (A. B. Schwartz)، م. ل. بونينجِر (M. L. Boninger)، ر. أ. غونت (R. A. Gaunt)، "التحفيز المجهريّ داخل قشرة الدماغ للقشرة الحسيّة الجسديّة البشريّة،" ("Intracortical Microstimulation of Human Somatosensory Cortex")، ساينس ترانسلايشونال مِديسين *(Science Translational Medicine)*، المجلّد 8، 19 أكتوبر/تشرين الأول 2016.

37 إ. أ. بوهلميير (E. A. Pohlmeyer)، م. فايفر (M. Fifer)، م. ريتش (M. Rich)، ج. بينو (J. Pino)، ب. ويستر (B. Wester)، م. جوهانِس (M. Johannes)، س. دوهوبولسكي (C. Dohopolski)، ج. هيلدِر (J. Helder)، د. دانجيلو (D. D'Angelo)، ج. بيتي (J. Beaty)، س. بن سماية (S. Bensmaia)، م. ماكلوفلين (M. McLoughlin)، وف. تينور (F. Tenore)، "بما يتجاوز التحكُّم المُجَسَم البديهي: إنجازاتٌ حديثةٌ باستخدام تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب،" ("Beyond Intuitive Anthropomorphic Control: Recent Achievements Using Brain Computer Interface Technologies")، في ت. جورج (T. George)، أ. ك. دوتا (A. K. Dutta)، وس. إسلام (S. Islam)، محرّرون، "أجهزة استشعار التقنيات الدقيقة والتقنيات متناهية الصغر (تقنيات النانو)، وأنظمتها وتطبيقاتها IX" *(Micro- and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications IX)*، وقائع جمعية مهندسي الأجهزة البصرية الضوئية (Proceedings of SPIE [Society of Photo-optical Instrumentation Engineers])، 2017.

38 س. سابرو (S. Saproo)، ج. فالِر (J. Faller)، ف. شيه (V. Shih)، ب. ساجدة (P. Sajda)، "الحوسبة المقرونة بقشرة الدماغ: نموذج جديد للتفاعل التآزري بين الإنسان والآلة،" ("Cortically Coupled Computing: A New Paradigm for Synergistic Human-Machine Interaction")، كومبيوتر *(Computer)*، المجلد 45، سبتمبر/أيلول 2016.

39 داريل إثيرينغتون (Darrell Etherington)، "إيلون ماسك قد يتمكّن من مُشارَكَة المزيد بشأن خطّته لمساعدَة البشر على مواكبة الذكاء الاصطناعي،" ("Elon Musk Could Soon Share More on His Plan to Help Humans Keep up with AI")، تيك كرانش *(TechCrunch)*، 25 يناير/كانون الثاني 2017.

40 أ. خَربال (A. Kharpal)، "إيلون ماسك: يتوجب على البشر الاندماج مع الآلات وإلا يصبحون غير ذي صلة في عصر الذكاء الاصطناعي،" ("Elon Musk: Humans Must Merge with Machines or Become Irrelevant in AI Age")، برنامج تيك ترانسفورمرز على سي.أن.بي.سي *(CNBC Tech Transformers)*، 13 فبراير/شباط 2017؛ ن. ستات (N. Statt)، "إيلون ماسك يُطلق نيورالينك، مشروع لدمْج الدماغ البشري مع الذكاء الاصطناعي،" ("Elon Musk Launches Neuralink, a Venture to Merge the Human Brain with AI")، ذا فيرج *(The Verge)*، 27 مارس/آذار 2017b.

41 وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (DARPA)، "تقدُّمٌ في السعي وراء تطوير نظامٍ اصطناعيّ للذاكرة البشريّة،" ("Progress in Quest to Develop a Human Memory Prosthesis")، بيان صحفي، 28 مارس/آذار 2018؛ تريستان ماك كلور-بيجلي (Tristan McClure-Begley)، "استعادة الذاكرة النشطة،" ("Restoring Active Memory")، وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (Defense Advanced Research Projects Agency)، الصفحة الإلكترونيّة، غير مؤرَّخ a.

42 "نظام اصطناعي للذاكرة ناجِحٌ لدى البشر،" ("Prosthetic Memory System Successful in Humans")، نيوروساينس نيوز *(Neuroscience News)*، المجلد 15، 28 مارس/آذار 2018؛ ر. إ. هامبسون (R. E. Hampson)، د. سونج (D. Song)، ب. س. روبِنسون (D. S. Robinson)، د. فيتيرهوف (D. Fetterhoff)، أ. س. داكوس (A. S. Dakos)، ب. م. رودر (B. M. Roeder)، ك. شي (X. She)، ر. ت. ويكس (R. T. Wicks)، د. إ. كوتور (D. E. Couture)، أ. و. لاكستون (A. W. Laxton)، م. مونجِر-كلاري (H. Munger-Clary)، ج. بوبلي (G. Popli)، م. ج. سليمان (M. J. Soliman)، س. ت. ويتلو (C. T. Whitlow)، ف. ز. مارمارلِيس (V. Z. Marmarlis)، ت. و. بِرجير (T. W. Berger)، و س. أ. ديدوايلِر (S. A. Deadwyler)، "تطوير عضو عصبيّ حُصَيني اصطناعي لتيسير ترميز الذاكرة البشرية واستذكارها،" ("Developing a Hippocampal Neural Prosthetic to Facilitate Human Memory Encoding and Recall")، جورنال أوف نيورال إنجينيرينج *(Journal of Neural Engineering)*، المجلد 15، العدد 3، يونيو/حزيران 2018.

43 ه. زهاو (H. Zhao)، ل. كياو (L. Qiao)، د. فان (D. Fan)، س. زهانغ (S. Zhang)، أ. توريل (O. Turel)، ي. لي (Y. Li)، ج. لي (J. Li)، ج. كزو (G. Xue)، أ. تشين (A. Chen)، وك. هي (Q. He)، "تعديــل نشــاط الدمــاغ بالتحفيز بالتيار المبــاشر عبر الجمجمة غير الباضِع: التطبيقــات السريريّة والمخاوف من حيث السلامة،" ("Modulation of Brain Activity with Noninvasive Transcranial Direct Current Stimulation [tDCS]: Clinical Applications and Safety Concerns")، فرونتيرز إن سايكولوجي *(Frontiers in Psychology)*، المجلد 8، 2017، ص. 685.

44 ب. دوكريل (P. Dockril)، "الجيش الأمريكي يعمل على تكنولوجيا قد تحوّل الجنود إلى سايبورغات أي متعضات سيبرناطيقية (وهي كائنات نظرية أو خيالية تتكون من مزيج من مكونات عضوية وبيو-ميكاترونية)،" ("The US Military Is Working on Tech That Could Turn Soldiers into Cyborgs")، ساينس أليرت *(Science Alert)*، 22 يناير/كانون الثاني 2016؛ ت. هاتمايكر (T. Hatmaker)، "وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية تمنح مبلغ 65 مليون دولار أمريكي لتطوير واجهة دماغ وحاسوب ثنائية الاتجاه ومتناهية الصغر ومثالية،" ("DARPA Awards $65 Million to Develop the Perfect, Tiny Two-Way Brain-Computer Interface")، تيك كرانش *(TechCrunch)*، 10 يوليو/تموز 2017.

45 آل إيموندي (Al Emondi)، "تصميم نظام الهندسة العصبية،" ("Neural Engineering System Design [NESD]")، وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (Defense Advanced Research Projects Agency)، الصفحة الإلكترونية، غير مؤرَّخ.

46 سيبول (Cebul)، 2018.

47 ر. ب. ن. راو (R. P. N. Rao)، أ. ستوكو (A. Stocco)، م. براين (M. Bryan)، د. سارما (D. Sarma)، ت. م. يونغكويست (T. M. Youngquist)، ج. وو (J. Wu)، وس. س. برات (C. S. Prat)، "واجهة مباشرة بين الأدمغة لدى البشر،" ("A Direct Brain-to-Brain Interface in Humans")، بلوس وان *(PLOS ONE)*، المجلد 9، العدد 11، 5 نوفمبر/تشرين الثاني 2014.

48 ل. جيانغ (L. Jiang)، أ. ستوكو (A. Stocco)، د. م. لوزي (D. M. Losey)، ج. أ. أبيرنيثي (J. A. Abernethy)، س. س. برات (C. S. Prat)، ور. ب. ن. راو (R. P. N. Rao)، "شبكة الدماغ: واجهة بين الأدمغة متعدّدة الأشخاص للتعاون المباشر بين الأدمغة،" ("BrainNet: A Multi-Person Brain-to-Brain Interface for Direct Collaboration Between Brains")، ساينتفك ريبورتس *(Scientific Reports)*، المجلد 9، 2019، ص. 6115.

49 م. بايس-فييرا (M. Pais-Vieira)، م. ليبيديف (M. Lebedev)، س. كونيكي (C. Kunicki)، ج. وانغ (J. Wang)، م. أ. ل. نيكوليليس (M. A. L. Nicolelis)، "واجهة بين الأدمغة لتبادُل المعلومات الحسية الحركيّة في الوقت الآني،" ("A Brain-to-Brain Interface for Real-Time Sharing of Sensorimotor Information")، ساينتفك ريبورتس *(Scientific Reports)*، المجلد 3، 2013، ص. 1319.

50 س. س. يو (S. S. Yoo)، ه. كيم (H. Kim)، ب. فيلاندريانوس (E. Filandrianos)، س. ج. تاغادوس (S. J. Taghados)، وس. بارك (S. Park)، "الواجهة بين الأدمغة غير الباضِعة: تأسيس روابط وظيفيّة بين دماغيْن،" ("Non-Invasive Brain-to-Brain Interface (BBI): Establishing Functional Links Between Two Brains")، بلوس وان *(PLOS ONE)*، المجلد 8، العدد 4، 2013.

51 إ. ه. ستيفنسون (I. H. Stevenson) وك. ب. كوردينج (K. P. Kording)، "كيف تؤثِّر التقدُّمات في مجال التسجيل العصبي على تحليل البيانات،" ("How Advances in Neural Recording Affect Data Analysis")، نايتشور نيوروساينس *(Nature Neuroscience)*، المجلد 14، 2011، ص. 139-142.

52 وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (Defense Advanced Research Projects Agency)، 2017.

53 ساموبل مور (Samuel Moore)، "الشبكة اللاسلكية تدفع بالأجهزة المزروعة في الدماغ بحجم الغبار خطوةً إلى الأمام،" ("Wireless Network Brings Dust-Sized Brain Implants a Step Closer")، آي.إي.إي.إي سبيكتروم *(IEEE Spectrum)*، معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (Institute of Electrical and Electronics Engineers)، 14 مايو/أيار 2019.

54 بارادروميكس (Paradromics)، "نموذجٌ جديدٌ في التسجيل العصبي،" ("A New Paradigm in Neural Recording")، بيان صحفي، 7 يناير/كانون الثاني 2020.

55 مدير المعلومات (Chief Information Officer)، 'توصيات وزارة الدفاع الأمريكية في السياسات لإنترنت الأشياء،" ("DoD Policy Recommendations for the Internet of Things [IoT]")، وزارة الدفاع الأمريكية (U.S Department of Defense)، واشنطن العاصمة، 2016؛ م. ويسجربر (M. Weisgerber)، "قوى جويّة تعاني من نقْص في عدد الأفراد تريد أن تنجز الروبوتات مزيداً من الوظائف البشرية،" ("A Short-Staffed Air Force Wants Robots to Do More Human Jobs")، ديفنس وان *(Defense One)*، 2017.

56 ف. ماشي (V. Machi)، "إنترنت الأشياء سيوفِّر المعلومات الاستخباراتيّة للحرب الحضرية،" ("Internet of Things to Provide Intelligence for Urban Warfare")، ناشيونال ديفنس *(National Defense)*، 22 يناير/كانون الثاني 2018a.

57 غروس (Gross)، 2018.

58 ن. ستات (N. Statt)، "كيرنيل تحاول تخريب (قرصنة) الدماغ البشري إلكترونياً، ولكن لا يزال أمام العلوم العصبية طريق طويل لتجتازه،" ("Kernel Is Trying to Hack the Human Brain—but Neuroscience Has a Long Way to Go")، ذا فيرج *(The Verge)*، 22 فبراير/شباط 2017a.

59 ستات (Statt)، 2017b.

60 بارادروميكس (Paradromics)، الصفحة الرئيسيّة، غير مؤرَّخ.

61 س. ساموبل (S. Samuel)، "فيسبوك يبني تكنولوجيا لقراءة عقلك. التداعيات الأخلاقيّة مذهلة،" ("Facebook Is Building Tech to Read Your Mind. The Ethical Implications Are Staggering")، فوكس *(Vox)*، 5 أغسطس/آب 2019.

62 ستيفان والدِرت (Stephan Waldert)، "الإشارات العصبية الباضِعة مقابل تلك غير الباضِعة لواجهات الأدمغة والآلات: هل سيسود أي منها؟" ("Invasive vs. Non-Invasive Neuronal Signals for Brain-Machine Interfaces: Will One Prevail?")، فرونتيرز إن نيوروساينس

(Frontiers in Neuroscience)، المجلد 10، 27 يونيو/حزيران 2016، ص. 295.

63 سيبول (Cebul)، 2018.

64 لورانس فريدمان (Lawrence Freedman)، "مستقبل الحرب: تاريخ" (The Future of War: A History)، نيويورك: مجموعة هاشيت بوك (Hachette Book Group)، 2017، ص. xxi.

65 فريدمان (Freedman)، 2017.

66 جون د. وينكلر (John D. Winkler)، تيموثي مارلر (Timothy Marler)، مارك ن. بوزارد (Marek N. Posard)، رافاييل س. كوهين (Raphael S. Cohen)، وميغن ل. سميث (Meagan L. Smith)، "تأمّلات حول مستقبل الحرب والتداعيات على سياسات وزارة الدفاع الأمريكيّة المتعلّقة بالأفراد" (Reflections on the Future of Warfare and Implications for Personnel Policies of the U.S. Department of Defense)، سانتا مونيكا، كاليفورنيا: مؤسسة RAND، PE-324-OSD، 2019.

67 بيتر روبرتس (Peter Roberts)، "بيئة تشغيل الصراع المستقبلية لغاية عام 2030،" ("The Future Conflict Operating Environment out to 2030")، المعهد المَلَكي للخدمات المتّحدة (Royal United Services Institute)، أوراق بحثية غير منتظمة الصدور (Occasional papers)، 3 يونيو/حزيران 2019.

68 "مستقبل الحرب،" ("Future of Warfare")، مركز الأمن الأمريكي الجديد (Center for New American Security)، الموقع الإلكتروني، غير مؤرَّخ.

69 تحالف التكنولوجيا التعاوني حول المعرفة وهندسة بيئة العمل العصبيّة (Cognition and Neuroergonomics Collaborative Technology Alliance)، "الرؤية" ("Vision")، الصفحة الإلكترونية، غير مؤرَّخ.

70 جيم ناش (Jim Nash)، "في ضباب المعركة، أجهزة الاستشعار الصوتيّة تُحدِّد إطلاق النار من خلال قياس حركة الهواء" ("Measuring In the Fog of Battle Acoustic Sensors Pinpoint Gunfire by Air Movement")، ساينتفك أميركان (Scientific American)، 30 أبريل/نيسان 2013؛ كيلسي أثيرتون (Kelsey Atherton)، "جهاز تتبُّع الطائرات بدون طيّار المُخصَّص يستطيع الآن الكشف عن أسراب الروبوتات" ("Dedicated Drone Tracker Can Now Detect Swarming Robots")، C4ISR.net، 20 سبتمبر/أيلول 2018؛ لوري أراتاني (Lori Aratani)، "مسؤولون يكشفون عن نظامٍ جديدٍ للتعرّف على الوجه في مطار دولس الدولي،" ("Officials Unveil New Facial Recognition System at Dulles International Airport")، واشنطن بوست (Washington Post)، 7 سبتمبر/أيلول 2018؛ جايمي كوندليف (Jamie Condliffe)، "المستثمرون الكبار يراهنون على الشركات الناشئة في الصين المتخصصة في مجال التعرّف على الوجه" ("Big Investors Are Placing Bets on China's Facial Recognition Start-ups")، نيويورك تايمز (New York Times)، 24 يوليو/تموز 2018.

71 آدم ستون (Adam Stone)، "إنترنت أشياء ساحة المعركة سيعتمد على شبكات مُحَدَّثَة،" ("The Internet of Battlefield Things Will Depend on Modernized Networks")، C4ISR.net، 3 أغسطس/آب 2018.

72 وينكلر وآخرون (Winkler et al.)، 2019.

73 جيم ليستر (Jim Lester)، وراسل فييرا (Russell Vieira)، "مفهوم تشغيل السحابة القتالية التابعة للقوى الجويّة الأمريكية،" ("U.S. Air Force Combat Cloud Operating Concept")، مارس/آذار 2016، كما وَرَد في آرون كايسر وآخرين (Aaron Kiser et al.)، "السحابة القتالية: قيادة متعدِّدة المجالات وتحكُّمٌ على امتداد مجموعة العمليات العسكرية" (The Combat Cloud: Multidomain Command and Control Across the Range of Military Operations)، كليّة القيادة والأركان الجويّة (Air Command and Staff College)، كليّة الحرب الجويّة (Air University)، قاعدة ماكسويل للقوى الجوية (Maxwell Air Force Base)، جمعية المكتبات الأمريكية (Ala.)، مارس/آذار 2017. راجِع أيضاً، ف. ماشي (V. Machi)، "القوى الجويّة تريد منصّات مبنيّةً تعتمد على الاتّصال بالعقل،" ("Air Force Wants Platforms Built with Connectivity in Mind")، ناشيونال ديفانس (National Defense)، 23 فبراير/شباط 2018b.

74 اللجنة المعنية بالمنهجية العسكرية والاستخباراتيّة للأبحاث حول العلوم العصبية النفسية والعلوم العصبية المعرفية الناشئة في العقديْن القادميْن (Committee on Military and Intelligence Methodology for Emergent Neuropsychologic and Cognitive Neural Science Research in the Next Two Decades)، "العلوم العصبية المعرفية الناشئة والتكنولوجيا المتصلة بها" (Emerging Cognitive Neuroscience and Related Technologies)، واشنطن العاصمة، دار نشْر ذا ناشونال أكاديميز (The National Academies Press)، 2008.

75 مارك بوميرلو (Mark Pomerleau)، "كيف انتقل الذكاء الاصطناعي من كونه منفعةً إلى كونه تهديداً عالمياً،" ("How Artificial Intelligence Went from an Advantage to a Worldwide Threat")، C4isr.net، 4 أبريل/نيسان 2018.

76 "استراتيجية الأنظمة الروبوتيّة والمستقلّة،" ("Robotic and Autonomous Systems Strategy")، المقرّ الرئيسي، إدارة الجيش (Department of the Army)، واشنطن العاصمة، مارس/آذار 2017.

77 إلياسون (Eliason)، 2017.

78 إلسا كانيا (Elsa Kania)، "تفرُّد ساحة المعركة: الذكاء الاصطناعي، والثورة العسكرية، وقوة الصين العسكرية المستقبلية،" ("Battlefield Singularity: Artificial Intelligence, Military Revolution, and China's Future Military Power")، مركز الأمن الأمريكي الجديد (Center for New American Security)، نوفمبر/تشرين الثاني 2017، ص. 29.

79 بول شاري (Paul Scharre)، "جيش لا أحد: أسلحة مستقلّة ومستقبل الحرب،" (Army of None: Autonomous Weapons and the Future of War)، نيويورك: دبليو. دبليو. نورتن أند كومباني (W. W. Norton & Company)، 2018، ص. 326.

80 تود ساوث (Todd South)، "تكتيكات أسراب الطائرات بدون طيّار تخضع للتجربة لتستخدمها المشاة في ساحة المعركة الحضرية،" ("Drone Swarm Tactics Get Tryout for Infantry to Use in Urban Battlespace")، آرمي تايمز (Army Times)، 8 يناير/كانون الثاني 2018.

81 شاون سنو (Shawn Snow)، "منطقة مجردة من السلاح: كيف ستؤدّي التكتيكات والروبوات الجديدة إلى انخراط مشاة البحرية بشكلٍ أعمق في القتال،" ("No Man's Land: How New Tactics and Robots Will Push Marines Deeper into the Fight")، مارين كوربس تايمز (Marine Corps Times)، 8 أغسطس/آب 2018.

82 بينج يوان (Peng Yuan)، ييجون وانج (Yijun Wang)، ليان جاو (Lian Gao)، تزي-بينج جونج (Tzyy-Ping Jung)، وكزياورونج جاو (Xiaorong Gao)، "واجهة تعاونية بين الدماغ والحاسوب لتسريع عملية صنْع القرارات البشريّة،" ("A Collaborative Brain-Computer Interface for Accelerating Human Decision Making")، في س. ستيفانيديس (C. Stephanidis) وم. أنطونا (M. Antona)، محرران، "وصولٌ شاملٌ في واجهة الإنسان والحاسوب: أساليب التصميم، والأدوات، وتقنيات التفاعل للدمْج الإلكتروني" (Universal Access in Human-Computer Interaction: Design Methods, Tools, and Interaction Techniques for eInclusion)، ملاحظات محاضرة في علْم الحاسوب (Lecture Notes in Computer Science)، برلين: سبرينجر (Springer)، المجلّد 8009، 2013، ص. 672-681.

83 جاك كوريغان (Jack Corrigan)، "البنتاغون يريد وضْع تكنولوجيا التحكُّم بالعقول في متناول القوّات،" ("The Pentagon Wants to Bring Mind-Controlled Tech to Troops")، Nextgov.com، 17 يوليو/تموز 2018.

84 كارل جوفرنال (Carl Governale)، "واجهات الدماغ والحاسوب هي عوامِل تُبَدِّل اللعبة،" ("Brain-Computer Interfaces Are Game Changers")، ريل كلير ديفانس (Real Clear Defense)، 31 أغسطس/آب 2017.

85 وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (Defense Advanced Research Projects Agency)، "يوم مقترحي الجيل القادم من التكنولوجيا العصبية غير الجراحيّة" ("N3 Proposers Day")، بيان صحفي، 3 أبريل/نيسان 2018.

86 كانيا (Kania)، 2017.

87 أمير حسين (Amir Husain)، "الحرب المفرطة: الصراع والتنافس في قرْن الذكاء الاصطناعي،" (Hyperwar: Conflict and Competition in the AI Century)، أوستن، تكساس: سبارك كوجنيشن (SparkCognition)، 2018.

88 شاري (Scharre)، 2018، ص. 321.

89 كوريغان (Corrigan)، 2018.

90 ب. و. سينجر (P. W. Singer)، "الاتّصال من أجل الحرب: ثورة الروبوتات والصراع في القرن الواحد والعشرين،" (Wired for War: The Robotics Revolution and Conflict in the Twenty-First Century)، نيويورك: دار نشْر بنجوين (Penguin Press)، 2009، ص. 126.

91 صحيفة الوقائع حول "واجهة الدماغ وسرب الروبوتات" ("Brain Swarm Interface [BSI]")، مختبر أنظمة الروبوتات المتعددة (Multi-robot Systems Lab)، جامعة بوسطن (Boston University)، غير مؤرَّخ.

92 باتريك تاكر (Patrick Tucker)، "التخاطر الفعليّ أقرب بخطوة إلى ساحة المعركة،" ("Actual Telepathy Is One Step Closer to the Battlefield")، ديفانس وان (Defense One)، 2 سبتمبر/أيلول 2014.

93 كايتي دروموند (Katie Drummond)، "البنتاغون يستعدّ للدفع بتخاطر الجنود،" ("Pentagon Preps Soldier Telepathy Push")، وايرد (Wired)، 14 مايو/أيار 2009.

94 باتريك كاتر (Patrick Cutter)، "شكْل الأشياء القادمة: المنافع العسكرية لواجهة الدماغ والحاسوب عام 2040،" ("The Shape of Things to Come: The Military Benefits of the Brain-Computer Interface in 2040")، تقرير بحثي لشهادة ماجستير في الفنون والعلوم العملياتية (Master of Operational Arts and Sciences)، قاعدة ماكسويل للقوى الجوية (Mazwell Air Force Base)، جمعية المكتبات الأمريكية (Ala.)، أبريل/نيسان 2015.

95 نوا شاشمان (Noah Shachman)، "تكرار حواسيب قراءة العقول التابعة للبنتاغون،" ("Pentagon's Mind Reading Computers Replicate")، وايرد (Wired)، 18 مارس/آذار 2008.

96 تحالف التكنولوجيا التعاوني حول المعرفة وهندسة بيئة العمل العصبيّة (Cognition and Neuroergonomics Collaborative Technology Alliance)، غير مؤرَّخ.

97 "تحالف التكنولوجيا التعاوني حول المعرفة وهندسة بيئة العمل العصبيّة أغسطس/آب 2010" ("Cognition and Neuroergonomics Collaborative Technology Alliance August 2010")، عرْض موجَز بالشرائح لمختبرات أبحاث الجيش الأمريكي (U.S. Army Research Labs) وقيادة البحث، والتطوير والهندسة (Research, Development and Engineering Command)، أغسطس/آب 2010.

98 د. د. لانغليبن (D. D. Langleben)، ج. لوجهيد (J. Loughead)، و. ب. بيلكر (W. B. Bilker)، ك. روباريل (K. Ruparel)، أ. تشايلدريس (A. Childress)، س. إ. بوش (S. I. Busch)، ور. جور (R. Gur)، "التمييز بين الحقيقة والكذب لدى الأفراد باستخدام التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي السريع المرتبط بالأحداث،" ("Telling the Truth from Lie in Individual Subjects with Fast Event-Related fMRI")، هيومن براين مابينغ (Human Brain Mapping)، المجلد 26، العدد 4، ديسمبر/كانون الأول 2005.

99 لقد تمّ تحديد هذا التطبيق المحتمل في اللجنة المعنية بالمنهجية العسكرية والاستخباراتيّة للأبحاث حول العلوم العصبية النفسية والعلوم العصبية المعرفية الناشئة في العقديْن القادميْن (Committee on Military and Intelligence Methodology for Emergent Neuropsychologic and Cognitive Neural Science Research in the Next Two Decades)، 2008.

100 جوناثن مورينو (Jonathan Moreno)، "حروب العقل: علْم الدماغ والجيش في القرن الواحد والعشرين،" (Mind Wars: Brain Science and the Military in the 21st Century)، نيويورك: دار نشْر بيلفو ليتيري (Bellevue Literary Press)، 2012، ص. 144. يعالج مورينو الحالة الراهنة

للتكنولوجيا عام 2012 لرقاقة "الجهاز الاصطناعي للدماغ"، والتغييرات الجينية التي قد تعزّز المعرفة نظرياً، والتحفيز الكهربائي عبْر التحفيز بالتيار المباشر عبر الجمجمة ([transcranial direct current stimulation [tDCS) (ص. 143-149).

[101] موراي كاربنتِر (Murray Carpenter)، "داخل المختبر المجنون حيث يزيد الجيش من تموييناته من الكافيين،" ("Inside the Crazy Lab Where the Army Spikes Its Rations with Caffeine")، وايرد *(Wired)*، 14 مارس/آذار 2014.

[102] ج. نيلسون (J. Nelson)، ر. أ. ماك كِنلي (R. A. McKinley)، س. فيليبس (C. Phillips)، ل. ماك إنتاير (L. McIntire)، س. جوديير (C. Goodyear)، أ. كرينر (A. Kreiner)، ول. مونفورتون (L. Monforton)، "آثار التحفيز بالتيار المباشر عبر الجمجمة على القدرة على الإنتاجية المتعددة المهام،" ("The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Multitasking Throughput Capacity")، فرونتيرز إن هيومن نيوروساينس *(Frontiers in Human Neuroscience)*، 29 نوفمبر/تشرين الثاني 2016.

[103] وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (Defense Advanced Research Projects Agency)، "تعزيز المرونة المشبكيّة لتسريع التعلُّم،" ("Boosting Synaptic Plasticity to Accelerate Learning")، بيان صحفي، 16 مارس/آذار 2016.

[104] "إعلان واسع النطاق صادر عن الوكالة: تدريب المرونة العصبية المستهدَفة،" ("Broad Agency Announcement: Targeted Neuroplasticity Training [TNT])، رقم البحث DARPA-SN-16-20، مكتب التكنولوجيات البيولوجية لوكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (DARPA Biological Technologies Office)، 1 أبريل/نيسان 2016.

[105] إريك فان جيسون (Eric Van Gieson)، "الوصفات الكهربائيّة،" ("Electrical Prescriptions [ElectRx]")، الموقع الإلكتروني، غير مؤرَّخ. وقد أشار باتريك كاتِر (Patrick Cutter) أيضاً إلى هذه النقطة ص. 24 من كاتِر (Cutter)، 2015.

[106] بِن كونابل (Ben Connable)، مايكل ج. ماكنيرني (Michael J. McNerney)، وليام مارسيلينو (William Marcellino)، آرون فرانك (Aaron Frank)، هنري هارغروف (Henry Hargrove)، مارك ن. بوزارد (Marek N. Posard). س. ريبيكا زيمرمان (S. Rebecca Zimmerman)، ناتاشا لاندر (Natasha Lander)، جايسِن ج. كاستيلو (Jasen J. Castillo)، جيمس سلادين (James Sladden)، أنيكا بيناندجك (Anika Binnendijk)، إليزابيث م. بارتلز (Elizabeth M. Bartels)، آبي دول (Abby Doll)، رايتشل تيكوت (Rachel Tecott)، بنجامين ج. فيرناندس (Benjamin J. Fernandes)، نيكلاس هِلويغ (Niklas Helwig)، جياكومو بيرسي باولي (Giacomo Persi Paoli)، كريستينا مارسينيك (Krystyna Marcinek)، وبول كورنيش (Paul Cornish)، "إرادة القتال: العودة إلى الأساسيات البشرية للحرب،" *(Will to Fight: Returning to the Human Fundamentals of War)*، سانتا مونيكا، كاليفورنيا، مؤسسة RAND، RB-10040-A، 2019.

[107] تتم معالجة القضاء المحتمل على الخوف من خلال العلوم العصبية في مورينو (Moreno)، 2012، ص. 149-151.

[108] غروس (Gross)، 2018.

[109] يسعى برنامج تدريب المرونة العصبية المستهدَفة (TNT) إلى "تعزيز إرسال الإشارات العصبية الكيميائيّة في الدماغ ما يؤدي إلى المرونة العصبية وييسّر الاحتفاظ بالمهارات المعرفية الجديدة على المدى الطويل." تريستان ماك كلور-بيجلي (Tristan McClure-Begley)، "تدريب المرونة العصبية المستهدَفة،" ("Targeted Neuroplasticity Training [TNT]")، وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية (Defense Advanced Research Projects Agency)، الصفحة الإلكترونيّة، غير مؤرَّخ، b.

[110] ج. ج. فيدال (J. J. Vidal)، "جنديّ المستقبل: الجيش يغيّر حدود الأداء البشري،" ("Tomorrow Soldier: The Military Is Altering the Limits of Human Performance")، ديفنس وان *(Defense One)*، 12 يوليو/تموز 2017؛ ي. تاجده (Y. Tadjdeh)، "الحاجات التكنولوجيّة العشرة الأولى لقيادة العمليّات الخاصّة الأمريكيّة — التكنولوجيا البيولوجيّة،" ("SOCOM's Top 10 Tech Needs—Biotechnology")، ناشيونال ديفنس *(National Defense)*، مايو/أيار 2018.

[111] براين وانج (Brian Wang)، "عمليات تالوس الخاصّة بشأن الهياكل الخارجية الجارية اليوم والخطط لإنشاء أقسام للهياكل الخارجيّة في ثلاثينيات القرن الواحد والعشرين،" ("TALOS Special Ops Exoskeleton Today and Plans for Exoskeleton Divisions in 2030s")، نِكست بيج فيوتشر *(nextBIG Future)*، 5 نوفمبر/تشرين الثاني 2018.

[112] بينج ويست (Bing West)، "الحرب الحضرية، في السابق والآن،" ("Urban Warfare, Then and Now")، ذي أتلانتيك *(The Atlantic)*، 30 يونيو/حزيران 2018، كما وَرَد في تود ساوث (Todd South)، "ساحة المعركة المستقبلية: الجيش ومشاة البحرية يستعدّان للقتال 'الشرس' في المدن الكبرى،" ("The Future Battlefield: Army, Marines Prepare for 'Massive' Fight in Megacities")، ميليتاري تايمز *(Millitary Times)*، 6 مارس/آذار 2018b.

[113] بحسب ما يرد وصفه بمزيد من التفصيل في الملحق، لقد أُتيح للاعبين دائماً خيار استخدام تكنولوجيا غير تكنولوجيا واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) وغير محدَّدة. وقد طُلِب من اللاعبين افتراض أنّ هذه الرقاقة مثّلَت امتداداً للمقاربات الحالية، فقد يتم مثلاً توفير الوظيفة C2 بواسطة جهاز راديو مُحدَّث يقترن بنطاق ووضوح أكبر. على الرغم من ذلك، ولأنّه لم يتم توضيح البديل التكنولوجي بالكامل للاعبين، ثمّة بعض الخطر من أن تكون هذه المقاربة قد أدّت إلى تحيُّز اللاعبين إلى استخدام تكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب.

[114] منشور حول قتال مشاة البحرية في الحرب رقم 12-1-B.1 (Marine Corps Warfighting Publication 12-1-B.1)، العمليات العسكرية في المناطق الحضرية *(Military Operations in Urban Terrain [MOUT])*، واشنطن العاصمة: المقرّ الرئيسي لمشاة البحرية الأمريكية (Headquarters U.S. Marine Corps)، 2 مايو/أيار 2016، ص. C6-C8.

[115] إليوت أكيرمان (Elliot Ackerman)، "إعادة تعلُّم تكتيكات جنود العاصفة: معركة الفلوجة،" ("Relearning Stormtroop Tactics: The Battle of Fallujah")، مجلة مشاة البحرية *(Marine Corps Gazette)*، سبتمبر/أيلول 2006.

[116] سكوت كيومو (Scott Cuomo)، "'الملاك الحارس' للوزير ماتيس وكيف يمكن أن يعود طيران مشاة البحريّة للتوجّه إلى الهدف" ("Marine Secretary Mattis' 'Guardian Angel' and How Corps Aviation Can Get Back on Target")، مدوّنة وور أون ذا روكس *(War on the Rocks)*، 20 يوليو/تموز 2017.

[117] أكيرمان (Ackerman)، 2006.

[118] ل. أندروز (L. Andrews) وج. ماكدونالد (J. MacDonald)، "خمس تكاليف للابتكار العسكري،" ("Five Costs of Military Innovation")، مدوّنة وور أون ذا روكس *(War on the Rocks)*، 18 فبراير/شباط 2016.

[119] تاكِر (Tucker)، 2014.

[120] طوماس غروف (Thomas Grove)، جوليان بارنز (Julian Barnes)، ودرو هينشاو (Drew Hinshaw)، "روسيا تستهدف الهواتف الذكية التابعة لجنود حلف شمال الأطلسي (الناتو)، بحسب مسؤولين غربيين،" ("Russia Targets NATO Soldier Smartphones, Western Officials Say")، وول ستريت جورنال *(Wall Street Journal)*، 4 أكتوبر/تشرين الأول 2017؛ إلين ناكاشيما (Ellen Nakashima) وبول سون (Paul Sonne)، "الصين خرّبَت (قرصَنَت) مقاول بحري إلكترونياً وحصَلَت على مجموعة من البيانات الحساسة جداً حول حرب الغواصات،" ("China Hacked a Navy Contractor and Secured a Trove of Highly Sensitive Data on Submarine Warfare")، واشنطن بوست *(Washington Post)*، 8 يونيو/حزيران 2018.

[121] وليام ج. برود (William J Broad)، "الأسلحة بالموجات الصِّغريّة هي المشتبه بها الرئيسيّة للأمراض لدى عمّال السفارة الأمريكية،" ("Microwave Weapons Are Prime Suspect in Ills of U.S. Embassy Workers")، نيويورك تايمز *(New York Times)*، 1 سبتمبر/أيلول 2018؛ إميلي روهالا (Emily Rauhala) وكارول موريلو (Carol Morello)، "وزارة الخارجيّة تحذّر المواطنين الأمريكيين في الصين بعْد تعرُّض موظَّفٍ لهجومٍ صوتيٍّ ممكن،" ("State Department Warns U.S. Citizens in China After Employee Suffers Possible Sonic Attack")، واشنطن بوست *(Washington Post)*، 23 مايو/أيار 2018.

[122] "كيف يمكن تخريب (قرصنة) الأجهزة الطبية مثل منظِّمات ضربات القلب ومضخّات الأنسولين إلكترونياً،" ("How Medical Devices Like Pacemakers and Insulin Pumps Can Be Hacked")، سي.بي.أس نيوز (CBS News)، 8 نوفمبر/تشرين الثاني 2018.

[123] "رسائل نصيّة شريرة تكشف عن جبهة فائقة التكنولوجيا في حرب أوكرانيا،" ("Sinister Text Messages Reveal High-tech Front in Ukraine War")، فويس أوف أمريكا نيوز (Voice of America News)، 11 مايو/أيار 2017.

[124] شاون سنو (Shawn Snow)، "تعزيز قدرات الجندي غير المحترف: تكنولوجيا جديدة متطوّرة تعني مسؤولية أكبر، وحمْل أثقل،" ("Enhancing the Grunt: Sophisticated New Tech Means Greater Responsibility, Heavier Load")، مارين كوربس تايمز *(Marine Corps Times)*، مارس/آذار 2018.

[125] ل. نيميلا (L. Niemela)، "ما الذين يضيف 'التقزّز' إلى 'عامِل التقزّز'،" ("What Puts the 'Yuck' in the 'Yuck Factor'")، بايو إثِكس *(Bioethics)*، المجلد 25، العدد 5، يونيو/حزيران 2011، ص. 267-279.

[126] ماثيو كوكس (Matthew Cox)، "الجيش يريد تكنولوجيا للطيران المستقلّ. ولكن هل يثق الطيّارون بها؟" ("The Army Wants Autonomous Aviation Tech. But Do Pilots Trust It?")، Military.com، 6 سبتمبر/أيلول 2018.

[127] "آلاف السويديين يقومون بإدخال الرقاقات تحت جلدهم،" ("Thousands of Swedes Are Inserting Microchips Under Their Skin")، الإذاعة الوطنية العامة (National Public Radio)، أول ثينغز كونسيدرد *(All Things Considered)*، 22 أكتوبر/تشرين الأوّل 2018.

[128] سينجر (Singer)، 2009، ص. 335.

[129] جولي كاربنتِر (Julie Carpenter)، "الثقافة والتفاعل بين الإنسان والروبوت في الفضاءات العسكرية: قصّة حرب" *(Culture and Human-Robot Interaction in Militarized Spaces: A War Story)*، أبينجدون، المملكة المتحدة: روتلدج (Routledge)، 2016.

[130] سينجر (Singer)، 2009، ص. 335.

[131] إلين م. ماك جي (Ellen M. McGee) وج. ك. ماغواير، جاي آر (G. Q. Maguire, Jr.)، "تقييم أخلاقي للرقاقات المزروعة في الدماغ،" ("Ethical Assessment of Implantable Brain Chips")، ورقة تمّ تقديمها في المؤتمر العالمي العشرين حول الفلسفة (Twentieth World Congress of Philosophy)، بوسطن، ماساتشوسيتس، 10-15 أغسطس/آب 1998.

[132] مبادرة "براين" لأبحاث الدماغ من خلال النهوض بالعلوم العصبية المبتكرة (BRAIN Initiative)، "مجموعة العمل المعنيّة بالأخلاقيات العصبية،" ("Neuroethics Working Group")، الصفحة الإلكترونية، غير مؤرَّخ-b.

[133] المجلس الوطني للأبحاث (National Research Council) والأكاديمية الوطنية للهندسة (National Academy of Engineering)، "التكنولوجيات الناشئة والمتوفرة بسهولة والأمن القومي: إطار عمل لمعالجة القضايا الأخلاقية، والقانونية والمجتمعية،" *(Emerging and Readily Available Technologies and National Security: A Framework for Addressing Ethical, Legal, and Societal Issues)*، واشنطن العاصمة، دار نشْر ذا ناشيونال أكاديميز (The National Academies Press)، 2014.

[134] المجلس الوطني للأبحاث (National Research Council) والأكاديمية الوطنية للهندسة (National Academy of Engineering)، 2014.

[135] المجلس الوطني للأبحاث (National Research Council) والأكاديمية الوطنية للهندسة (National Academy of Engineering)، 2014، ص. 75.

136 برنهارد سيهم (Bernhard Sehm) وباتريك راجيرت (Patrick Ragert)، "لماذا يجب عدم استخدام تحفيز الدماغ غير الباضِع في الجيش والإدارات الأمنية،" (Why Non-Invasive Brain Stimulation Should Not Be Used in Military and Security Services)، فرونتيرز إن نيوروساينس *(Frontiers in Neuroscience)*، المجلد 7، سبتمبر/أيلول 2013.

137 تم تسليط الضوء على هذه النقطة في مورينو (Moreno)، 2012، ص. 199.

138 المجلس الوطني للأبحاث (National Research Council) والأكاديمية الوطنية للهندسة (National Academy of Engineering)، 2014، ص. 74؛ مورينو (Moreno)، 2012، ص. 156.

139 سيهم (Sehm) وراجيرت (Ragert)، 2013؛ م. ن. تِنيسون (M. N. Tennison)، وج. د. مورينو (J. D. Moreno)، "العلوم العصبية، والأخلاقيات، والأمن القومي: الحالة الراهنة للتكنولوجيا،" ("Neuroscience, Ethics, and National Security: The State of the Art")، بلوس بايولوجي *(PLoS Biology)*، المجلد 10، 2012.

140 المجلس الوطني للأبحاث (National Research Council) والأكاديمية الوطنية للهندسة (National Academy of Engineering)، 2014، ص. 53.

141 ك. بروكامب (K. Brukamp) ود. غروس (D. Gross)، "التعزيز العصبي — موضوعٌ مثيرٌ للجدل في الأخلاقيات الطبية المعاصِرَة،" (Neuroenhancement—A Controversial Topic in Contemporary Medical Ethics)، في كونتمبوراري إيشوز إن بيو إثيكس *(Contemporary Issues in Bioethics)*، د. ب. أ. كلارك (D. P. A. Clark)، محرر، رييكا، كرواتيا: إنتك (InTech)، 2012، ص. 48. تتم معالجة الاعتبارات الفلسفيّة الأوسع نطاقاً المحيطة بالهوية البشريّة والمفاهيم المستقبلية "للدمْج بين الدماغ والآلة" في سوزان شنايدر (Susan Schneider)، "أنت الاصطناعي: الذكاء الاصطناعي ومستقبل عقلك،" *(Artificial You: AI and the Future of Your Mind)*، برينستون، نيو جيرسي: دار نشْر برينستون (Princeton University Press)، 2019.

142 مارسيلو إِينكا (Marcelo Ienca) وروبرتو أندورنو (Roberto Andorno)، "باتّجاه حقوق إنسان جديدة في عصْر العلوم العصبية والتكنولوجيا العصبية،" (Towards New HumanRights in the Age of Neuroscience and Neurotechnology)، لايف ساينسز، سوسايتي أند بوليسي *(Life Sciences, Society and Policy)*، المجلد 13، العدد 5، 2017.

143 ج. برونِلين (J. Brunelin)، ج. لوفاسير-مورو (J. Levasseur-Moreau)، وس. فيكتو (S. Fecteau)، "هل من الأخلاقي والآمن استخدام تحفيز الدماغ غير الباضِع بمثابة جهازٍ للتعزيز المعرفي والحركي للإدارات العسكرية؟ ردٌّ على سيهم وراجرت،" (Is It Ethical and Safe to Use Non-Invasive Brain Stimulation as a Cognitive and Motor Enhancer Device for Military Services? A Reply to Sehm and Ragert)، فرونتيرز إن نيوروساينس *(Frontiers in Neuroscience)*، المجلد 7، 2013.

144 كوريغان (Corrigan)، 2018.

145 "الأخلاقيات وأنظمة الأسلحة المستقلّة: قاعدةٌ أخلاقيّةٌ للتحكُّم البشري؟" (Ethics and Autonomous Weapon Systems: An Ethical Basis for Human Control?)، اللجنة الدولية للصليب الأحمر (International Committee of the Red Cross)، أبريل/نيسان 2018.

146 سينجر (Singer)، 2009، ص. 408.

147 التوجيه الصادر عن وزارة الدفاع الأمريكيّة رقم 3000.09 (Department of Defense Directive 3000.09)، "الاستقلالية في أنظمة الأسلحة" *(Autonomy in Weapon Systems)*، 21 نوفمبر/تشرين الثاني 2012؛ "لمسةٌ بشرية: الأسلحة المستقلّة، التوجيه الصادر عن وزارة الدفاع الأمريكيّة رقم 3000.09 وتفسير 'المستويات الملائمة من الحكم البشريّ بشأن استخدام القوّة'،" (A Human Touch: Autonomous Weapons, DoD Directive 3000.09 and the Interpretation of 'Appropriate Levels of Human Judgment over the Use of Force,') في ن. بهوتا (N. Bhuta)، س. بيك (S. Beck)، ر. جيب (R. Geiß)، محررون، "أنظمة الأسلحة المستقلة: القوانين، والأخلاقيات، والسياسات" *(Autonomous Weapons Systems: Law, Ethics, Policy)*، كامبريدج، المملكة المتحدة: دار نشْر جامعة كامبريدج (Cambridge University Press)، 2016، ص. 185-208.

148 "الأخلاقيات وأنظمة الأسلحة المستقلة: قاعدةٌ أخلاقيّةٌ للتحكُّم البشري؟" (Ethics and Autonomous Weapon Systems: An Ethical Basis for Human Control?)، 2018.

149 هيثر م. روف (Heather M. Roff) وريتشارد مويِس (Richard Moyes)، "التحكُّم البشري الهادِف، والذكاء الاصطناعي، والأسلحة المستقلّة،" (Meaningful Human Control, Artificial Intelligence and Autonomous Weapons)، ورقة إحاطة تمّ إعدادها للاجتماع غير الرسمي للخبراء حول أنظمة الأسلحة المستقلّة القاتلة (Informal Meeting of Experts on Lethal Autonomous Weapons Systems)، اتفاقية الأمم المتّحدة المتعلّقة بأسلحة تقليدية معيّنة (UN Convention on Certain Conventional Weapons)، أبريل/نيسان 2016.

150 كارل جوفرنال (Carl Governale)، "واجهات الدماغ والحاسوب هي عوامِل تُبَدِّل اللعبة،" ("Brain-Computer Interfaces Are Game Changers")، ريل كلير ديفانس *(Real Clear Defense)*، 31 أغسطس/آب 2017.

151 بيتر و. سينجر (Peter W. Singer)، ظهور في برنامج الأمن القومي ومستقبل الحرب *(National Security and the Future of Warfare)*، سي أس بان (CSPAN)، 18 مارس/آذار 2018، من الخامسة ودقيقتين صباحاً إلى السابعة صباحاً بالتوقيت الشرقي؛ ميغان إكشتاين (Megan Eckstein)، "مقابلة: اللواء البحري مايك منازير يتحدّث عن نسْج شبكات القتل الجديدة الخاصة بالبحرية،" ("Interview: Rear Adm. Mike Manazir on Weaving the Navy's New Kill Webs")، يو.أس.أن.آي نيوز (USNI News)، 3 أكتوبر/تشرين الأوّل 2016.

152 مركز ستوكدال للقيادة الأخلاقية (Stockdale Center on Ethical Leadership)، الأكاديمية البحرية الأمريكية (U.S. Naval Academy)، "المحاربون الجدد والأسلحة الجديدة: التشعبات الأخلاقية للتكنولوجيات العسكرية الناشئة،" (New Warriors and New Weapons: The Ethical Ramifications of Emerging Military Technologies)، تقرير صادر عن مؤتمر ماكاين عام 2010 (2010 McCain conference)، أنابوليس، ماريلاند، 23 أبريل/نيسان 2010، ورَدَ في مورينو (Moreno)، 2012، ص. 150-151.

153 "التقاطع الصدغي الجداري الأيمن" (The right temporo-parietal junction)، المجلس الوطني للأبحاث (National Research Council) والأكاديمية الوطنية للهندسة (National Academy of Engineering)، 2014، ص. 77.

154 المجلس الوطني للأبحاث (National Research Council) والأكاديمية الوطنية للهندسة (National Academy of Engineering)، 2014، ص. 77.

155 آش كارتر (Ash Carter)، "أمريكا بحاجةٍ إلى التوفيق بين التكنولوجيا وغرضٍ علني،" (America Needs to Align Technology with a Public Purpose)، مجلة مركز بيلفر للعلوم والشؤون الدولية *(Belfer Center for Science and International Affairs Magazine)*، 25 نوفمبر/تشرين الثاني 2018.

156 مركز دمْج قدرات الجيش (Army Capabilities Integration Center)، "المدينة الكبيرة: التحديات العمليّاتيّة لاستراتيجية قوّة 2025 وما بعدْ، الخطة الدراسية المستقبلية لهيئة أركان الجيش،" *(The Megacity: Operational Challenges for Force 2025 and Beyond, Army Chief of Staff's Future Study Plan)*، واشنطن العاصمة: المقرّ الرئيسي لإدارة الجيش (Headquarters Department of the Army)، 2014، ورَدَ في جيان جانتيل (Gian Gentile)، ديفيد إ. جونسون (David E. Johnson)، ليزا سوم-مانينج (Lisa Saum-Manning)، رافاييل س. كوهين (Raphael S. Cohen)، شارا وليامز (Chara Williams)، كاري لي (Carrie Lee)، مايكل شوركين (Michael Shurkin)، برينا ألِن (Brenna Allen)، ساره سليمان (Sarah Soliman)، وجيمس ل. دوتي III (James L. Doty III)، "إعادة تخيُّل طابع العمليات الحضريّة للجيش الأمريكي: كيف يمكن للماضي أنْ ينير الحاضر والمستقبل،" *(Reimagining the Character of Urban Operations for the U.S. Army: How the Past Can Inform the Present and Future)*، سانتا مونيكا، كاليفورنيا، مؤسسة RAND، RR-1602-A، 2017.

157 ساوث (South)، 2018b؛ غيدجِت فوينتِس (Gidget Fuentes)، "تجربة مشاة البحرية مع مفاهيم التكنولوجيا الجديدة لساحة المعركة الحضرية،" (Marines Experiment with New Technology Concepts for the Urban Battlefield)، يو.أس.أن.آي نيوز *(USNI News)*، 26 مارس/آذار 2018.

158 هيئة الأركان المشتركة الأمريكية (U.S. Joint Chiefs of Staff)، "العمليات الحضرية المشتركة" *(Joint Urban Operations)*، المنشور المشترك رقم 06-3 (Joint Publication 3-06)، واشنطن العاصمة، 20 نوفمبر/تشرين الثاني 2013، ص. viii-vii، ورَدَ في جانتيل وآخرين (Gentile et al.)، 2017، ص. 14.

159 روبرت ك. يِن (Robert K. Yin)، "بحث حول دراسة حالة: التصميم والأساليب" *(Case Study Research: Design and Methods)*، النسخة الثانية، ثاوزند أوكس (Thousand Oaks)، كاليفورنيا: دار نشْر سايج (Sage Publishing)، 1994، ص. 38-39.

160 على العكس من ذلك، لو لم تدعم اللعبة الفرضية، كان ليتم دحْض الصيغة المتطرّفة فحسب من الفرضية، وهي أنّ واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) قد لا تكون مفيدةً في جميع الوضعيات ولكنّها قد توفّر منفعةً كافيةً في مجالات مختارة لتكون جديرةً بالاستثمار. على الرغم من ذلك، شعرنا عند هذه المرحلة من الاستكشاف أنّ الدليل حول المجالات التي قد تكون فيها التكنولوجيا ملائمة قد يكون ذا قيمة كبيرة على الأرجح في تحديد التوقعات المعقولة.

161 هيئة الأركان المشتركة الأمريكية (U.S. Joint Chiefs of Staff)، "العمليات المشتركة" *(Joint Operations)*، المنشور المشترك رقم 0-3 (Joint Publication 3-0)، واشنطن العاصمة، 17 يناير/كانون الثاني 2017، ص. xix-xiii.



Ackerman, Elliot, “Relearning Storm Troop Tactics: The Battle of Fallujah,” *Marine Corps Gazette*, September 2006.

Andrews, L., and J. MacDonald, “Five Costs of Military Innovation,” *War on the Rocks*, February 18, 2016.

Aratani, Lori, “Officials Unveil New Facial Recognition System at Dulles International Airport,” *Washington Post*, September 7, 2018.

Army Capabilities Integration Center, *The Megacity: Operational Challenges for Force 2025 and Beyond, Army Chief of Staff’s Future Study Plan*, Washington, D.C.: Headquarters Department of the Army, 2014.

Atherton, Kelsey, “Dedicated Drone Tracker Can Now Detect Swarming Robots,” C4ISR.net, September 20, 2018.

Beall, A., “The Drones That Fly Using Mind Control: Swarms of UAVS Developed for the US Military Could Be Guided by Brain Waves, *Daily Mail*, July 19, 2016.

Berger, H. “Ueber das Elektroenkephalogramm des Menschen,” *Archiv fur Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, Vol. 87, 1929, pp. 527–570.

Bonizzato, Marco, Galyna Pidpruzhnykova, Jack Digiovanna, Polina Shkorbatova, Natalia Pavlova, Silvestro Micera, and Grégoire Courtine, “Brain-Controlled Modulation of Spinal Circuits Improves Recovery from Spinal Cord Injury,” *Nature Communications*, Vol. 9, No. 1, 2018, p. 3015.

BRAIN Initiative, homepage, undated-a. As of May 4, 2020:
http://www.braininitiative.org/

———, “Neuroethics Working Group,” webpage, undated-b. As of February 23, 2020:
https://braininitiative.nih.gov/about/neuroethics-working-group

Broad, William J., “Microwave Weapons Are Prime Suspect in Ills of U.S. Embassy Workers,” *New York Times*, September 1, 2018.

Brukamp, K., and D. Gross, “Neuroenhancement—A Controversial Topic in Contemporary Medical Ethics,” in *Contemporary Issues in Bioethics*, D. P. A. Clark, ed., Rijeka, Croatia: InTech, 2012.

Brunelin, J., J. Levasseur-Moreau, and S. Fecteau, “Is It Ethical and Safe to Use Non-Invasive Brain Stimulation as a Cognitive and Motor Enhancer Device for Military Services? A Reply to Sehm and Ragert,” *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 7, 2013, p. 874.

Carpenter, Julie, *Culture and Human-Robot Interaction in Militarized Spaces: A War Story*, Abingdon, UK: Routledge, 2016.

Carpenter, Murray, “Inside the Crazy Lab Where the Army Spikes Its Rations with Caffeine,” *Wired*, March 14, 2014.

Carter, Ash, “America Needs to Align Technology with a Public Purpose,” *Belfer Center for Science and International Affairs Magazine*, November 25, 2018.

Cebul, Daniel, “DARPA Wants to Connect Human Brains and Machines,” *TechWatch*, March 19, 2018.

Center for New American Security, “Future of Warfare,” website, undated. As of January 8, 2019:
https://www.cnas.org/research/future-of-warfare

Chen, S., “‘Forget the Facebook Leak’: China Is Mining Data Directly from Workers’ Brains on an Industrial Scale,” *South China Morning Post*, April 29, 2018.

Chief Information Officer, “DoD Policy Recommendations for the Internet of Things (IoT),” U.S. Department of Defense, Washington, D.C., 2016.

Chicago Council on Science and Technology, “What Is the BRAIN Initiative?” blog post, September 24, 2015. As of May 5, 2020:
https://www.c2st.org/what-is-the-brain-initiative/

Cognition and Neuroergonomics Collaborative Technology Alliance, “Vision,” webpage, undated. As of May 4, 2020:
https://www.cancta.net//vision.shtml

———, “Cognition and Neuroergonomics Collaborative Technology Alliance August 2010,” briefing slides for U.S. Army Research Labs and Research, Development and Engineering Command, August 2010.

Committee on Military and Intelligence Methodology for Emergent Neuropsychologic and Cognitive Neural Science Research in the Next Two Decades, *Emerging Cognitive Neuroscience and Related Technologies*, Washington, D.C.: The National Academies Press, 2008.

Condliffe, Jamie, “Big Investors Are Placing Bets on China’s Facial Recognition Start-ups” *New York Times*, July 24, 2018.

Connable, Ben, Michael J. McNerney, William Marcellino, Aaron Frank, Henry Hargrove, Marek N. Posard, S. Rebecca Zimmerman, Natasha Lander, Jasen J. Castillo, James Sladden, Anika Binnendijk, Elizabeth M. Bartels, Abby Doll, Rachel Tecott, Benjamin J. Fernandes, Niklas Helwig, Giacomo Persi Paoli, Krystyna Marcinek, and Paul Cornish, *Will to Fight: Returning to the Human Fundamentals of War*, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, RB-10040-A, 2019. As of May 8, 2020:
https://www.rand.org/pubs/research_briefs/RB10040.html

Corrigan, Jack, “The Pentagon Wants to Bring Mind-Controlled Tech to Troops,” Nextgov.com, July 17, 2018. As of May 8, 2020:
https://www.nextgov.com/emerging-tech/2018/07/pentagon-wants-bring-mind-controlled-tech-troops/149776/

Cox, Matthew, “The Army Wants Autonomous Aviation Tech. But Do Pilots Trust It?” Military.com, September 6, 2018.

Cuomo, Scott, “Secretary Mattis’ ‘Guardian Angel’ and How Marine Corps Aviation Can Get Back on Target,” *War on the Rocks*, July 20, 2017.

Cutter, Patrick, “The Shape of Things to Come: The Military Benefits of the Brain-Computer Interface in 2040,” research report for Master of Operational Arts and Sciences, Maxwell Air Force Base, Ala., April 2015.

DARPA—*See* Defense Advanced Research Projects Agency.

Dearen, J., “Mind-Controlled Drones Race to the Future,” Associated Press, 2016.

DeCostanza, Arwen H., Amar R. Marathe, Addison Bohannon, A. William Evans, Edward T. Palazzolo, Jason S. Metcalfe, and Kaleb McDowell, “Enhancing Human-Agent Teaming with Individualized, Adaptive Technologies: A Discussion of Critical Scientific Questions,” Human Research and Engineering Directorate, Army Research Laboratory, May 2018.

Gentile, Gian, David E. Johnson, Lisa Saum-Manning, Raphael S. Cohen, Chara Williams, Carrie Lee, Michael Shurkin, Brenna Allen, Sarah Soliman, and James L. Doty III, *Reimagining the Character of Urban Operations for the U.S. Army: How the Past Can Inform the Present and Future*, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, RR-1602-A, 2017. As of May 5, 2020: https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1602.html

Governale, Carl, "Brain-Computer Interfaces Are Game Changers," *Real Clear Defense*, August 31, 2017.

Gross, Michael Joseph, "The Pentagon's Push to Program Soldiers' Brains," *The Atlantic*, November 2018.

Grove, Thomas, Julian Barnes, and Drew Hinshaw, "Russia Targets NATO Soldier Smartphones, Western Officials Say," *Wall Street Journa*l, October 4, 2017.

Hajinoroozi, M., Z. Mao, and Y. Huang, "Prediction of Driver's Drowsy and Alert States from EEG Signals with Deep Learning," *2015 IEEE Sixth International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing (CAMSAP)*, Cancun, December 13–16, 2015, pp. 493–496.

Hampson, R. E., D. Song, B. S. Robinson, D. Fetterhoff, A. S. Dakos, B. M. Roeder, X. She, R. T. Wicks, M. R. Witcher, D. E. Couture, A. W. Laxton, H. Munger-Clary, G. Popli, M. J. Soliman, C. T. Whitlow, V. Z. Marmarelis, T. W. Berger, and S. A. Deadwyler, "Developing a Hippocampal Neural Prosthetic to Facilitate Human Memory Encoding and Recall," *Journal of Neural Engineering*, Vol. 15, No. 3, June 2018.

Hatmaker, T., "DARPA Awards $65 Million to Develop the Perfect, Tiny Two-Way Brain-Computer Interface," *TechCrunch*, July 10, 2017.

"How Medical Devices Like Pacemakers and Insulin Pumps Can Be Hacked," CBS News, November 8, 2018.

Human-Oriented Robotics and Control Lab, "Research Project 1: Brain-Swarm Interaction and Control Interfaces," University of Delaware, webpage, undated. As of May 6, 2020: https://sites.udel.edu/horclab/research-bsi/

Husain, Amir, *Hyperwar: Conflict and Competition in the AI Century*, Austin, Tex.: SparkCognition, 2018.

Ienca, Marcello, and Roberto Andorno, "Towards New Human Rights in the Age of Neuroscience and Neurotechnology," *Life Sciences, Society and Policy*, Vol. 13, No. 5, 2017.

International Committee of the Red Cross, "Ethics and Autonomous Weapon Systems: An Ethical Basis for Human Control?" April 2018.

Jiang, L., A. Stocco, D. M. Losey, J. A. Abernethy, C. S. Prat, and R. P. N. Rao, "BrainNet: A Multi-Person Brain-to-Brain Interface for Direct Collaboration Between Brains," *Scientific Reports*, Vol. 9, 2019, p. 6115.

Kania, Elsa, "Battlefield Singularity: Artificial Intelligence, Military Revolution, and China's Future Military Power," Center for New American Security, November 2017.

Karavas, George, Daniel T. Larsson, and Panagiotis Artemiadis, "A Hybrid Brain-Machine Interface for Control of Robotic Swarms: Preliminary Results," *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Vancouver, Canada, September 24–28, 2017, pp. 5065–5075.

Kharpal, A., "Elon Musk: Humans Must Merge with Machines or Become Irrelevant in AI Age," CNBC *Tech Transformers,* February 13, 2017.

Defense Advanced Research Projects Agency, "Neural Engineering System Design (NESD) Program," press release, January 19, 2015. As of May 5, 2020: https://www.darpa.mil/news-events/2015-01-19

———, "Boosting Synaptic Plasticity to Accelerate Learning," press release, March 16, 2016. As of May 4, 2020: https://www.darpa.mil/news-events/2016-03-16

———, "Towards a High-Resolution, Implantable Neural Interface," press release, July 10, 2017.

———, "Progress in Quest to Develop a Human Memory Prosthesis," press release, March 28, 2018.

———, "N3 Proposers Day," press release, April 3, 2018.

Department of Defense Directive 3000.09, *Autonomy in Weapon Systems*, November 21, 2012.

Dockril, P., "The US Military Is Working on Tech That Could Turn Soldiers into Cyborgs," *Science Alert*, January 22, 2016.

Drummond, Katie, "Pentagon Preps Soldier Telepathy Push," *Wired*, May 14, 2009.

Eckstein, Megan, "Interview: Rear Adm. Mike Manazir on Weaving the Navy's New Kill Webs," *USNI News*, October 3, 2016.

Eliason, William, "An Interview with Robert Work," *Joint Force Quarterly 84*, January 26, 2017. As of May 6, 2020: https://ndupress.ndu.edu/Media/News/Article/1038783/an-interview-with-robert-o-work/

Emondi, Al, "Neural Engineering System Design (NESD)," Defense Advanced Research Projects Agency, webpage, undated. As of May 7, 2020: https://www.darpa.mil/program/neural-engineering-system-design

Etherington, Darrell, "Elon Musk Could Soon Share More on His Plan to Help Humans Keep up with AI," *TechCrunch*, January 25, 2017.

Flesher, S. N., J. L. Collinger, S. T. Foldes, J. M. Weiss, J. E. Downey, E. C. Tyler-Kabara, S. J. Bensmaia, A. B. Schwartz, M. L. Boninger, and R. A. Gaunt, "Intracortical Microstimulation of Human Somatosensory Cortex," *Science Translational Medicine*, Vol. 8, October 19, 2016.

Fox, Douglas, "Brain Cells Communicate with Mechanical Pulses, Not Electric Signals," *Scientific American*, April 1, 2018.

Freedberg, Sydney, "Centaur Army: Bob Work, Robotics, and the Third Offset Strategy," *Breaking Defense* blog, 2015.

———, "Iron Man, Not Terminator: The Pentagon's Sci Fi Inspirations," *Breaking Defense* blog, May 3, 2016.

Freedman, Lawrence, *The Future of War: A History*, New York: Hachette Book Group, 2017.

Fuentes, Gidget, "Marines Experiment with New Technology Concepts for the Urban Battlefield," *USNI News*, March 26, 2018. As of May 14, 2020: https://news.usni.org/2018/03/26/marines-experiment-new-technology-concepts-urban-battlefield

Multi-robot Systems Lab, Boston University, “Brain Swarm Interface (BSI)” fact sheet, undated. As of May 8, 2020: http://sites.bu.edu/msl/research/brain-swarm-interface-bsi/

Nakashima, Ellen, and Paul Sonne, “China Hacked a Navy Contractor and Secured a Trove of Highly Sensitive Data on Submarine Warfare,” *Washington Post*, June 8, 2018.

Nam, C. S., A. Nijholt, and F. Lotte, *Brain-Computer Interfaces Handbook*, Boca Raton, Fla.: CRC Press, 2018.

Nash, Jim, “In the Fog of Battle Acoustic Sensors Pinpoint Gunfire by Measuring Air Movement” *Scientific American*, April 30, 2013.

National Research Council and National Academy of Engineering, *Emerging and Readily Available Technologies and National Security: A Framework for Addressing Ethical, Legal, and Societal Issues*, Washington, D.C.: The National Academies Press, 2014.

Nelson, J., R. A. McKinley, C. Phillips, L. McIntire, C. Goodyear, A. Kreiner, and L. Monforton, “The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Multitasking Throughput Capacity,” *Frontiers in Human Neuroscience*, November 29, 2016.

Niemela, L., “What Puts the ‘Yuck’ in the ‘Yuck Factor,’” *Bioethics*, Vol. 25, No. 5, June 2011, pp. 267–279.

Pais-Vieira, M., M. Lebedev, C. Kunicki, J. Wang, and M. A. L. Nicolelis, “A Brain-to-Brain Interface for Real-Time Sharing of Sensorimotor Information,” *Scientific Reports*, Vol. 3, 2013.

Pandarinath, Chethan, Paul Nuyujukian, Christine H. Blabe, Brittany L. Sorice, Jad Saab, Francis R. Willett, Leigh R. Hochberg, Krishna V. Shenoy, and Jaimie M. Henderson, “High Performance Communication by People with Paralysis Using an Intracortical Brain-Computer Interface,” *eLife*, Vol. 6, February 21, 2017.

Paradromics, homepage, undated. As of May 7, 2020: https://paradromics.com/

———, “A New Paradigm in Neural Recording,” press release, January 7, 2020.

Parman, M., “Robotic Arm Reaches Toward Success,” *Johns Hopkins News-Letter*, January 31, 2013.

Pohlmeyer, Eric A., M. Fifer, M. Rich, J. Pino, B. Wester, M. Johannes, C. Dohopolski, J. Helder, D. D’Angelo, J. Beaty, S. Bensmaia, M. McLoughlin, and F. Tenore, “Beyond Intuitive Anthropomorphic Control: Recent Achievements Using Brain Computer Interface Technologies,” in T. George, A. K. Dutta, and S. Islam, eds., *Micro- and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications IX*, Proceedings of SPIE (Society of Photo-optical Instrumentation Engineers), 2017.

Pomerleau, Mark, “DoD’s Third Offset Strategy: What Man and Machine Can Do Together,” *Defense Systems*, May 4, 2016.

———, “How Artificial Intelligence Went from an Advantage to a Worldwide Threat,” C4isr.net, April 4, 2018.

“Prosthetic Memory System Successful in Humans,” *Neuroscience News*, Vol. 15, March 28, 2018.

Rao, R. P. N., A. Stocco, M. Bryan, D. Sarma, T. M. Youngquist, J. Wu, and C. S. Prat, “A Direct Brain-to-Brain Interface in Humans,” *PLOS ONE*, Vol. 9, No. 11, November 5, 2014.

Rauhala, Emily, and Carol Morello, “State Department Warns U.S. Citizens in China After Employee Suffers Possible Sonic Attack,” *Washington Post*, May 23, 2018.

Kiser, Aaron, Jacob Hess, Mostafa El Bouhafa, and Shawn Williams, “The Combat Cloud: Enabling Multi-Domain Command and Control Across the Range of Military Operations,” Air Command and Staff College, Air University, Maxwell Air Force Base, Ala., March 2017.

Krucoff, M. O., S. Rahimpour, M. W. Slutzky, V. R. Edgerton, and D. A. Turner, “Enhancing Nervous System Recovery Through Neurobiologics, Neural Interface Training, and Neurorehabilitation,” *Frontiers in Neuroscience*, Vol. 10, December 2016, p. 584. As of May 5, 2020: https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00584

Kryger, M., B. Wester, E. A. Pohlmeyer, M. Rich, B. John, J. Beaty, M. McLoughlin, M. Boninger, and E. C. Tyler-Kabara, “Flight Simulation Using a Brain-Computer Interface: A Pilot, Pilot Study,” *Experimental Neurology*, Vol. 287, 2017, pp. 473–478.

Langleben, D. D., J. Loughead, W. B. Bilker, K. Ruparel, A. Childress, S. I. Busch, and R. Gur, “Telling the Truth from Lie in Individual Subjects with Fast Event-Related fMRI,” *Human Brain Mapping*, Vol. 26, No. 4, December 2005, pp. 262–272.

Lester, Jim, and Russell Vieira, “U.S. Air Force Combat Cloud Operating Concept,” March 2016, as cited in Aaron Kiser, Jacob Hess, Mostafa El Bouhafa, and Shawn Williams, *The Combat Cloud: Multidomain Command and Control Across the Range of Military Operations*, Air Command and Staff College, Air University, Maxwell Air Force Base, Ala., March 2017.

Machi, V., “Internet of Things to Provide Intelligence for Urban Warfare,” *National Defense*, January 22, 2018a.

———, “Air Force Wants Platforms Built with Connectivity in Mind,” *National Defense*, February 23, 2018b.

Marine Corps Warfighting Publication 12-1-B.1, *Military Operations in Urban Terrain (MOUT)*, Washington, D.C.: Headquarters U.S. Marine Corps, May 2, 2016 .

Marler, Tim, “The American Intellectual Property,” *Real Clear Defense*, December 19, 2017.

McClure-Begley, Tristan, “Restoring Active Memory,” Defense Advanced Research Projects Agency, webpage, undated a. As of May 5, 2020: https://www.darpa.mil/program/restoring-active-memory

———, “Targeted Neuroplasticity Training (TNT),” Defense Advanced Research Projects Agency, webpage, undated b. As of May 14, 2020: https://www.darpa.mil/program/targeted-neuroplasticity-training

McGee, Ellen M., and G. Q. Maguire, Jr., “Ethical Assessment of Implantable Brain Chips,” paper presented to the Twentieth World Congress of Philosophy, Boston, Mass., August 10–15, 1998.

Mehta, Aaron, “Work Outlines Key Steps in Third Offset Tech Development,” *Defense News*, December 14, 2015.

Mola, Roger, “Super Helmet: F-35 Pilots Get X-Ray Vision and Other Magic Powers,” *Air & Space Magazine*, September 2017.

Moore, Samuel, “Wireless Network Brings Dust-Sized Brain Implants a Step Closer,” *IEEE Spectrum*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, May 14, 2019.

Moreno, Jonathan, *Mind Wars: Brain Science and the Military in the 21st Century*, New York: Bellevue Literary Press, 2012.

———, “The Future Battlefield: Army, Marines Prepare for ‘Massive’ Fight in Megacities,” *Military Times*, March 6, 2018b. As of May 14, 2020:
https://www.militarytimes.com/news/your-army/2018/03/06/the-future-battlefield-army-marines-prepare-for-massive-fight-in-megacities/

Stanford Medicine News Center, “Brain-Computer Interface Advance Allows Fast, Accurate Typing by People with Paralysis,” press release, February 21, 2017. As of May 4, 2020:
https://med.stanford.edu/news/all-news/2017/02/brain-computer-interface-allows-fast-accurate-typing-by-people-with-paralysis.html

Statt, N., “Kernel Is Trying to Hack the Human Brain—but Neuroscience Has a Long Way to Go,” *The Verge*, February 22, 2017a.

———, “Elon Musk Launches Neuralink, a Venture to Merge the Human Brain with AI,” *The Verge*, March 27, 2017b.

Stevenson, I. H., and K. P. Kording, “How Advances in Neural Recording Affect Data Analysis,” *Nature Neuroscience*, Vol. 14, 2011, pp. 139–142.

Stockdale Center on Ethical Leadership, U.S. Naval Academy, “New Warriors and New Weapons: The Ethical Ramifications of Emerging Military Technologies,” report of the 2010 McCain conference, Annapolis, Md., April 23, 2010.

Stockton, Nick, “Woman Controls a Fighter Jet Sim Using Only Her Mind,” *Wired*, March 5, 2015.

Stone, Adam, “The Internet of Battlefield Things Will Depend on Modernized Networks,” C4ISR.net, August 3, 2018.

Tadjdeh, Y., “SOCOM’s Top 10 Tech Needs—Biotechnology,” *National Defense*, May 2018.

Tennison, M. N., and J. D. Moreno, “Neuroscience, Ethics, and National Security: The State of the Art,” *PLoS Biology*, Vol. 10, 2012.

“Thousands of Swedes Are Inserting Microchips Under Their Skin,” National Public Radio, *All Things Considered*, October 22, 2018.

Tucker, Patrick, “Actual Telepathy Is One Step Closer to the Battlefield,” *Defense One*, September 2, 2014.

———, “The Military Is Altering the Limits of Human Performance,” *The Atlantic*, July 14, 2017.

U.S. Joint Chiefs of Staff, J*oint Urban Operations*, Joint Publication 3-06, Washington, D.C., November 20, 2013.

———, *Joint Operations*, Joint Publication 3-0, Washington, D.C., January 17, 2017.

Van Gieson, Eric, “Electrical Prescriptions (ElectRx),” Defense Advanced Research Projects Agency, website, undated. As of August 26, 2019:
https://www.darpa.mil/program/electrical-prescriptions

Vidal, J. J., “Towards Direct Brain-Computer Communication,” *Annual Review of Biophysics and Bioengineering*, Vol. 2, 1973, pp. 157–180.

———, “Tomorrow Soldier: The Military Is Altering the Limits of Human Performance,” *Defense One*, July 12, 2017.

Waldert, Stephan, “Invasive vs. Non-Invasive Neuronal Signals for Brain-Machine Interfaces: Will One Prevail?” *Frontiers in Neuroscience*, Vol. 10, June 27, 2016, p. 295.

Reardon, Sara, “Brain Implants for Mood Disorders Tested in People,” *Nature*, Vol. 551, November 30, 2017, p. 549.

Regalado, A., “Reversing Paralysis,” *MIT Tech Review*, February 22, 2017.

Roberts, Peter, “The Future Conflict Operating Environment out to 2030,” Royal United Services Institute, *Occasional Papers*, June 3, 2019.

“Robotic and Autonomous Systems Strategy,” Headquarters, Department of the Army, Washington, D.C., March 2017.

Roff, Heather M., and Richard Moyes, “Meaningful Human Control, Artificial Intelligence and Autonomous Weapons,” briefing paper prepared for the Informal Meeting of Experts on Lethal Autonomous Weapons Systems, UN Convention on Certain Conventional Weapons, April 2016.

Salazar-Gomez, A. F., J. Del Preto, S. Gil, F. H. Guenther, and D. Rus, “Correcting Robot Mistakes in Real Time Using EEG Signals,” *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Singapore, July 2017, pp. 6570–6577.

Samuel, S., “Facebook Is Building Tech to Read Your Mind. The Ethical Implications Are Staggering,” *Vox*, August 5, 2019.

Saproo, S., J. Faller, V. Shih, and P. Sajda, “Cortically Coupled Computing: A New Paradigm for Synergistic Human-Machine Interaction,” *Computer*, Vol. 45, September 2016.

Saxon, D., “A Human Touch: Autonomous Weapons, DoD Directive 3000.09 and the Interpretation of ‘Appropriate Levels of Human Judgment over the Use of Force,’” in N. Bhuta, S. Beck, R. Geiβ, H. Liu, and C. Kreβ, eds., *Autonomous Weapons Systems: Law, Ethics, Policy*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2016, pp. 185–208.

Scharre, Paul, *Army of None: Autonomous Weapons and the Future of War*, New York: W. W. Norton & Company, 2018.

Schneider, Susan, *Artificial You: AI and the Future of Your Mind*, Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2019.

Sehm, Bernhard, and Patrick Ragert, “Why Non-Invasive Brain Stimulation Should Not Be Used in Military and Security Services,” *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 7, September 2013, p. 553.

Shachman, Noah, “Pentagon’s Mind Reading Computers Replicate,” *Wired*, March 18, 2008.

Sherman, Jason, “DoD Unveils Technology Areas That Will Drive ‘Third Offset’ in Investments, Experimentation,” *Inside Defense*, December 9, 2015.

Singer, Peter W., appearance on *National Security and the Future of Warfare*, CSPAN, March 18, 2018.

———, *Wired for War: The Robotics Revolution and Conflict in the Twenty-First Century*, New York: Penguin Press, 2009.

“Sinister Text Messages Reveal High-tech Front in Ukraine War,” Voice of America News, May 11, 2017.

Snow, Shawn, “Enhancing the Grunt: Sophisticated New Tech Means Greater Responsibility, Heavier Load,” *Marine Corps Times*, March 2018a.

———, “No Man’s Land: How New Tactics and Robots Will Push Marines Deeper into the Fight,” *Marine Corps Times*, August 8, 2018b.

South, Todd, “Drone Swarm Tactics Get Tryout for Infantry to Use in Urban Battlespace,” *Army Times*, January 8, 2018a.

Winkler, John D., Timothy Marler, Marek N. Posard, Raphael S. Cohen, and Meagan L. Smith, *Reflections on the Future of Warfare and Implications for Personnel Policies of the U.S. Department of Defense*, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, PE-324-OSD, 2019. As of May 7, 2020: https://www.rand.org/pubs/perspectives/PE324.html

Wang, Brian, "TALOS Special Ops Exoskeleton Today and Plans for Exoskeleton Divisions in 2030s," *nextBIG Future*, November 5, 2018.

Weisgerber, M., "A Short-Staffed Air Force Wants Robots to Do More Human Jobs," *Defense One*, 2017.

West, Bing, "Urban Warfare, Then and Now," *The Atlantic*, June 30, 2018. As of May 14, 2020: https://www.theatlantic.com/international/archive/2017/06/urban-warfare-hue-mosul/532173/

Yuan, Peng, Yijun Wang, Lian Gao, Tzyy-Ping Jung, and Xiaorong Gao, "A Collaborative Brain-Computer Interface for Accelerating Human Decision Making," in C. Stephanidis and M. Antona, eds., *Universal Access in Human-Computer Interaction: Design Methods, Tools, and Interaction Techniques for eInclusion*, Lecture Notes in Computer Science, Berlin: Springer, Vol. 8009, 2013, pp. 672–681.

Yin, Robert K., *Case Study Research: Design and Methods*, 2nd ed., Thousand Oaks, Calif.: Sage Publishing, 1994.

Yoo, S. S., H. Kim, E. Filandrianos, S. J. Taghados, and S. Park, "Non-Invasive Brain-to-Brain Interface (BBI): Establishing Functional Links Between Two Brains," *PLOS ONE*, Vol. 8, No. 4, 2013.

Zhao, H., L. Qiao, D. Fan, S. Zhang, O. Turel, Y. Li, J. Li, G. Xue, A. Chen, and Q. He, "Modulation of Brain Activity with Noninvasive Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS): Clinical Applications and Safety Concerns," *Frontiers in Psychology*, Vol. 8, 2017, p. 685.

عن المؤلّفين

أنيكا بيناندجك (Anika Binnendijk) هي أخصائيّة في العلوم السياسيّة في مؤسسة RAND، ركّز بحثها على قضايا الدفاع والأمن القومي، بما في ذلك عملية صنْع القرارات، والتكنولوجيا، والتحديث المتحالف، والمرونة الوطنيّة. وتشمل خبرتها السابقة الخدمة في مكتب وزير الدفاع (Office of the Secretary of Defense) وفي مكتب التخطيط للسياسات في وزارة الخارجيّة الأمريكية (U.S. State Department Office of Policy Planning).

تيموثي مارلِر (Tim Marler) هو مهندس أبحاث أوّل في مؤسسة RAND وأستاذ في كلية RAND للدراسات العليا (Pardee RAND Graduate School). يتمحور عمله حول النمذجة والمحاكاة مع تركيزٍ على التحسين المتعدد الأغراض، وأجهزة المحاكاة والبيئات الافتراضيّة للتدريب، والنمذجة البشرية الرقمية، والتكنولوجيا الناشئة.

إليزابِث م. بارتيلز (Elizabeth M. Bartels) هي باحثة مساعِدَة في السياسات وأخصائية في مجال ألعاب تحليل سياسات الأمن القومي. يستكشف عملها مجموعةً واسعةً من المخاوف الاستراتيجية والعملياتية، مع تركيزٍ على الألعاب حول مواضيع جديدة وتلك التي تدمج تقنيات تحليليةً أخرى.

شُكْرٌ وعِرفان

إننا نشكر أندرو باراسيليتي (Andrew Parasiliti)، وهو المدير السابق لمركز RAND للمخاطر والأمن العالميّ (RAND's Center for Global Risk and Security) على دعْمه على مدار مبادرة مركز RAND للمخاطر والأمن العالميّ للأمن 2040 (CGRS Security 2040 initiative). وقد قدَّم كبار مستشارينا جون بلامب (John Plumb) وراند والتزمان (Rand Waltzman)، مشورةً وتغذية راجعة حكيمتين خلال المراحل الأولى من المشروع. ونحن ممتنّون أيضاً لسوني إيفرون (Sonni Efron) لعمليات التنقيح القيّمة التي قامت بها، ولمات ديناردو (Matt DeNardo) لمراجعته المعمّقة وتغذيته الراجعة، ولروبِن ميلي (Robin Meili) لإرشاد عملنا من المسودّة وحتّى النشر. ونشكر أيضا مراجعينا، جويل بريد (Joel Predd)، وهو مهندس أول ومدير مركز سياسات الحيازة والتكنولوجيا التابع لمعهد أبحاث RAND للأمن القومي (National Security Research Division Acquisition and Technology Policy Center) في مؤسسة RAND؛ وإريك أ. بوهلميير (Eric A. Pohlmeyer)، وهو باحث أوّل في مختبر الفيزياء التطبيقية في جامعة جونز هوبكينز (Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory)؛ وبول شاري (Paul Scharre)، وهو زميل أول ومدير برنامج التكنولوجيا والأمن القومي (Technology and National Security Program) في مركز الأمن الأمريكي الجديد (Center for a New American Security)، على رؤيتهم وتغذيتهم الراجعة.

عن هذا التقرير

يراجع هذا التقرير المنفعة العملياتية والاعتبارات في السياسات المرتبطة بالتطبيق المستقبلي المحتمل لتكنولوجيات واجهة الدماغ والحاسوب (brain-computer interfaces) في القتال العسكري. ويُعدّ هذا التقرير جزءاً من جهد أوسع نطاقاً، هو مبادرة مشاريع RAND (RAND Ventures) التي تهدف إلى تصوُّر التحديّات الأمنيّة الأساسيّة في عالَم العام 2040، مع النظر في تأثيرات الاتجاهات السياسية، والتكنولوجية، والاجتماعية، والديموغرافية التي ستشكّل تلك التحديات الأمنية في العقود المقبلة. وقد أُجرِيَ البحث في مركز RAND للمخاطر والأمن العالميّ (RAND Center for Global Risk and Security).

عن مركز RAND للمخاطر والأمن العالميّ (RAND Center for Global Risk and Security)

يعمل مركز RAND للمخاطر والأمن العالميّ (RAND Center for Global Risk and Security) على امتداد مؤسسة RAND لتطوير أبحاثٍ متعددة الاختصاصات وتحليل السياسات التي تتناول المخاطر المنهجية على الأمن العالمي. يعتمد المركز على خبرة مؤسسة RAND لاستكمال أبحاث مؤسسة RAND وتوسيعها في مجالات متعددة، بما في ذلك الأمن، والاقتصاد، والصحة والتكنولوجيا. يقدّم مجلسٌ مؤلّفٌ من كبار قادة الأعمال المتميّزين، والمُحسنين، وصانعي السياسات السابقين المشورة والدعم لأنشطة المركز، التي تركّز بشكلٍ متزايد على اتّجاهات الأمن العالمي وتأثير التكنولوجيات المدمّرة على المخاطر والأمن. لمزيدٍ من المعلومات حول مركز RAND للمخاطر والأمن العالميّ، يرجى زيارة الموقع الإلكتروني www.rand.org/international/cgrs.

مبادرة مؤسسة RAND للأمن 2040 (Security 2040)

يُعدّ هذا التقرير جزءاً من مبادرة مؤسسة RAND لتَصَوُّر التحديّات الأمنيّة الأساسيّة في عالَم العام 2040، مع الأخذ في الاعتبار آثار الاتجاهات السياسية، والتكنولوجية، والاجتماعية، والديموغرافية التي ستشكّل تلك التحديات الأمنية في العقود القادِمة. لقد تمّ إجراء البحث في مركز RAND للمخاطر والأمن العالميّ (RAND Center for Global Risk and Security).

التمويل

لقد تمّ توفير التمويل لهذا البحث والتحليل من خلال الهبات من الجهات الداعِمة لمؤسسة RAND وإيرادات العمليات. وقد تمّ أيضاً توفير الدعم جزئياً لهذا المشروع من المساهمات السخيّة من المجلس الاستشاري لمركز RAND للمخاطر والأمن العالميّ (RAND Center for Global Risk and Security [CGRS] Advisory Board).



مؤسسة RAND هي منظمةٌ بحثية تعمل على تطوير حلولٍ لتحدّيات السياسات العامة وللمساعدة في جعل المجتمعات في أنحاء العالم أكثر أمناً وأماناً، وأكثر صحةً وازدهاراً. مؤسسة RAND هي مؤسسةٌ غير ربحية، حيادية، وملتزمةٌ بالصالح العامّ.

لا تعكس منشورات مؤسسة RAND بالضرورة آراء عملاء ورعاة الأبحاث الذين يتعاملون معها. ®RAND هي علامةٌ تجاريّةٌ مسجّلة.

للحصول على مزيدٍ من المعلومات حول هذا المنشور، الرجاء زيارة الموقع الإلكتروني: www.rand.org/t/RR2996.



لقد اسْتَثْمَرَت وزارة الدفاع الأمريكية (Department of Defense) في تطوير التكنولوجيات التي تسمح للدماغ البشريّ بالتواصل مباشرةً مع الآلات، بما في ذلك تطوير واجهات عصبيّة تُزْرَع في الجسم (implantable neural interfaces) وتكون قادرةً على نقْل البيانات بين الدماغ البشري والعالَم الرقمي. يجوز استخدام هذه التكنولوجيا التي تُعرَف بتسمية واجهة الدماغ والحاسوب (brain–computer interface [BCI]) لرصْد حمْل العمل المعرفيّ لدى جنديٍّ ما، أو للتحكُّم بسربٍ من الطائرات بدون طيّار، أو لوصْلها مع عضو اصطناعيّ، من بين أمثلةٍ أخرى. وقد تدعم تقدّماتٌ تكنولوجيّةٌ إضافيّةٌ عملية صنْع القرارات بين الإنسان والآلة، والتواصل بين البشر، والتحكُّم بالأنظمة، وتعزيز الأداء ورصْده، والتدريب. على الرغم من ذلك، يجب تقييم قضايا متعدّدة في السياسات وأخرى متعلّقة بالسلامة، وأخرى قانونيّة وأخلاقيّة قبل نشْر التكنولوجيا على نطاقٍ واسع. وقد طوّر هذا المشروع لعبةً للأمن القومي من أجل استكشاف استخدام واجهة الدماغ والحاسوب في سيناريوهات قتالٍ مستقبليّة، وجَمَعَ خبراء في مجال العمليات العسكرية، والأداء البشريّ، وعلْم الأعصاب لاستكشاف كيفية احتمال تأثير التكنولوجيا على التكتيكات العسكريّة، والنواحي التي قد تكون الأكثر منفعةً، والنواحي التي قد تقترن بالمخاطر، وقدَّمَ أيضاً توصيات لصانعي السياسات. وسعى المشروع إلى تقييم التطبيقات الحالية والمحتملة لواجهة الدماغ والحاسوب بالنسبة إلى الجيش لضمان استجابة التكنولوجيا إلى الحاجات الفعليّة، والوقائع العمليّة، والاعتبارات القانونية والأخلاقية، بالإضافة إلى نوايا المطوِّرين.

www.rand.org

Arabic Translation of:
"Brain-Computer Interfaces: U.S. Military Applications and Implications, An Initial Assessment"
RR-2996/1-RC